

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"
ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

На правах рукопису

ШТОГРІНА ОЛЕНА СЕРГІЇВНА

УДК 004.82

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ СТВОРЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ
БАЗ НЕЧІТКИХ ЗНАНЬ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТАГРАФІВ**

05.13.06 - Інформаційні технології

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник
Терновой Максим Юрійович
кандидат технічних наук, с.н.с.

Київ – 2016

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 Проблематика створення інформаційних технологій для задач бізнес-аналізу.....	12
1.1. Потреби підприємств та організацій у засобах бізнес-аналітики.....	12
1.2. Характеристика процесів оброблення інформації при оцінці стану складного об'єкту.....	15
1.3. Аналіз існуючих систем бізнес-аналітики	19
1.4. Аналіз баз нечітких знань, їх властивостей та методів подання	24
1.5. Аналіз методів візуалізації графових структур	37
1.6. Концепція інформаційної технології створення та використання баз нечітких знань із застосуванням метаграфів.....	44
Висновки	46
РОЗДІЛ 2 Подання та використання бази нечітких знань у вигляді метаграфа	48
2.1. Основні поняття метаграфа	48
2.2. Використання метаграфа	52
2.3. Створення метаграфа, який подає базу нечітких знань.....	53
2.4. Нечітке логічне виведення на основі метаграфа, який подає базу нечітких знань.....	60
2.5. Удосконалена нечітка логічна модель об'єкту	63
2.6. Статична верифікація бази нечітких знань	63
Висновки	82
РОЗДІЛ 3 Візуалізація метаграфа	84
3.1. Проблема візуалізації метаграфа.....	84
3.2. Критерії правильної візуалізації метаграфа.....	86
3.3. Метод візуалізації метаграфів	88
3.4. Формули визначення коефіцієнтів притягання та відштовхування ..	94
3.5. Візуалізація ієрархічних метаграфів.....	98

Висновки	100
РОЗДІЛ 4 Інформаційна технологія створення та використання баз нечітких знань із застосуванням метаграфів.....	101
4.1. Основні положення інформаційної технології створення та використання баз нечітких знань із застосуванням метаграфів.....	101
4.2. Інформаційна система для оцінки психофізичного стану людини для Національного антарктичного наукового центру України.....	112
4.3. Дослідження ефективності інформаційної технології створення та використання баз нечітких знань із застосуванням метаграфів.....	122
4.4. Досвід практичного використання інформаційної технології створення та використання баз нечітких знань із застосуванням метаграфів.....	124
Висновки	131
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ	132
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	134
Додаток А Матриці коефіцієнтів для основних прикладів взаємозв'язків між вузлами метаграфів	151
Додаток Б Алгоритм побудови метаграфа, що подає базу нечітких знань, яка зберігається в базі даних з використанням черги у вигляді псевдокоду.....	153
Додаток В Акти впровадження.....	154

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

BI	Business Intelligence
CRM	Customer Relationship Management
EBIS	Enterprise Business Intelligence Suites
ERP	Enterprise Resource Planning System
OLAP	Online Analytical Processing
БД	база даних
БЗ	база знань
БНЗ	база нечітких знань
ІС	інформаційна система
ІТ	інформаційні технології
ІТСВ БНЗ	Інформаційна технологія створення та використання баз нечітких знань із застосуванням метаграфів
КІЗ	комплекс інструментальних засобів
ЛЗ	лінгвістична змінна
ОПР	особа, що приймає рішення
ПО	предметна область
СКБД	система керування базами даних
СО	складний об'єкт
ФН	функція належності

ВСТУП

Актуальність теми. В епоху глобалізації та інформатизації, формування ІТ-суспільства існування підприємств та організацій не можливе без ефективних інформаційних, інформаційно-аналітичних систем, систем підтримки прийняття рішень. У зв'язку з цим популярності набуває впровадження систем бізнес-аналітики (Business Intelligence (BI)), які націлені на аналіз даних та інформації для розв'язання задач підтримки прийняття рішень. В межах цих систем для надання оцінки стану складних об'єктів (СО) широкого розповсюдження набувають інтелектуальні системи, які орієнтовані на тиражування досвіду висококваліфікованих фахівців в областях, де якість прийняття рішення залежить від рівня експертизи.

Теоретична основа інтелектуальних систем на основі баз знань (БЗ) активно та різносторонньо розроблялась в 70-90-х роках минулого століття, однак, інтелектуальні системи в той час не отримали широкого практичного застосування через брак потужних обчислювальних ресурсів. На сьогоднішній день бази знань, як складова частина інтелектуальних систем виходять на новий рівень розвитку та свого застосування за рахунок доступності обладнання, яке здатне забезпечити використання інтелектуальних систем в багатьох сферах людської діяльності. Так все більше уваги зосереджується на використанні баз нечітких знань (БНЗ), за допомогою яких можна враховувати як кількісну, так і якісну інформацію. Для розв'язання задач класифікації, тобто при виборі стану СО з декількох відомих, найчастіше використовують системи типу Мамдані, які є прозорими та зрозумілими для експертів. А оскільки на стан СО впливає велика кількість факторів, то доцільніше застосовувати ієрархічні БНЗ.

Значний внесок у розробці теорії інтелектуальних систем зробили вітчизняні та закордонні вчені, серед них Згуровський М. З., Павлов О. А., Панкратова Н. Д., Гаврилова Т. А., Заде Л. А., Ротштейн А. П., Штовба С. Д., Зайченко Ю. П., Сааті Т., Basu A., Blanning R. W. та ін.

Одними з найскладніших етапів при побудові інтелектуальних систем є

наповнення знаннями баз знань та їх подальша верифікація. Для класичних баз знань ці етапи доволі добре опрацьовані, в той же час для баз нечітких знань такі методи або відсутні, або розглядаються лише для простих випадків. Додатковою проблемою є відсутність методів візуалізації баз знань і баз нечітких знань, які б дозволили подавати сукупність наявної у базах інформації у вигляді деякої зв'язаної структури без дублювання інформації. Таке подання дозволило б покращити сприйняття інформації, що міститься в база знань, експертом, полегшило б етапи наповнення знаннями, їх верифікації та аналізу отриманих результатів.

Таким чином, постає актуальна науково-практична задача розроблення інформаційної технології створення та використання БНЗ, як основи підтримки прийняття рішень в інформаційних системах (ІС) підприємств та організацій. У свою чергу, розв'язання цієї задачі вимагає розроблення відповідних моделей, методів та алгоритмів подання, використання та візуалізації БНЗ.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась згідно з планами наукових досліджень кафедри інформаційно-телекомунікаційних мереж Інституту телекомунікаційних систем в рамках:

1) науково-дослідної роботи за рахунок держбюджету «Управління ресурсами та сервісами в гетерогенному інформаційно-телекомунікаційному середовищі» (номер державної реєстрації 0109U001584);

2) науково-дослідної роботи за рахунок держбюджету «Мультиагентна система інтеграції інформаційних ресурсів та обробки інформації в розподіленому інформаційно-телекомунікаційному середовищі» (номер державної реєстрації 0110U002415);

3) науково-дослідної роботи за рахунок держбюджету «Гетерогенне середовище з динамічною архітектурою для високопродуктивної обробки інформації в розподілених інформаційних системах» (номер державної реєстрації 0113U001627);

4) наукової теми на замовлення Національного антарктичного наукового центру України «Розробка системної інфраструктури єдиного інформаційного середовища даних антарктичних досліджень» (Н/Н-2013-5, РК 0113U004967);

5) проекту за грантом № GP/F44/08 «Методи інтеграції інформаційних ресурсів і сервісів обробки інформації в розподіленому інформаційно-телекомунікаційному середовищі з використанням технології інтелектуальних агентів» (номер державної реєстрації 0112U008211).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності оброблення інформації в інтелектуальних системах на основі БНЗ в умовах невпорядкованості правил та наявності аномалій за рахунок інформаційної технології створення та використання БНЗ із застосуванням метаграфів (ІТСВ БНЗ).

Для досягнення мети дослідження були поставлені та вирішені такі основні **завдання**:

1. Виявити особливості оброблення інформації в інтелектуальних системах на основі БНЗ, провести аналіз притаманних їм аномалій, дослідити можливість візуалізації БНЗ та роботи з їх графічним поданням.

2. Удосконалити нечітку логічну модель оброблення інформації шляхом подання БНЗ у вигляді метаграфа.

3. Розробити метод статичної верифікації ієрархічної БНЗ, поданої у вигляді метаграфа.

4. Розробити метод візуалізації метаграфів для формування їх графічного подання.

5. На основі запропонованої моделі, методів та алгоритмів розробити інформаційну технологію створення та використання БНЗ із застосуванням метаграфів.

6. Дослідити ефективність розробленої інформаційної технології при створенні та впровадженні ІС, у яких опрацьовується нечітка інформація.

Об'єкт дослідження – процеси обробки інформації в інтелектуальних системах на основі баз нечітких знань.

Предмет дослідження – моделі, методи, алгоритми та інформаційні технології обробки інформації на основі баз нечітких знань в умовах неупорядкованості правил та наявності аномалій.

Методи дослідження, застосовані для вирішення поставлених завдань: апарат теорії нечітких множин, нечіткої логіки, теорії множин, теорії графів та метаграфів, теорії баз даних (БД) і баз знань.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше запропоновано метод статичної верифікації ієрархічної БНЗ, поданої у вигляді метаграфа, який полягає у визначенні та перевірці кількості та взаємопов'язаності вершин, метавершин і дуг на відповідність накладеним на структуру метаграфа обмеженням, що дозволило проводити перевірку БНЗ на відповідність властивостям несуперечливості, лінгвістичної повноти, лінгвістичної ненадлишковості, відсутності зациклювання.

2. Удосконалено нечітку логічну модель за рахунок подання ієрархічної БНЗ у вигляді метаграфа з додатковими обмеженнями на його структуру та впорядкованість вузлів, нечіткого логічного виведення на його основі з виділенням необхідної для виведення частини, що дозволило скоротити час оброблення інформації в інтелектуальних системах з ієрархічними БНЗ за рахунок зменшення часу нечіткого логічного виведення.

3. Вперше запропоновано метод візуалізації метаграфів, який полягає у комбінуванні силових алгоритмів з додатковим врахуванням вкладеності вершин у метавершини, що дозволило отримувати графічне представлення метаграфа на площині, яке взаємооднозначно відповідає його аналітичному представленню, що, в свою чергу, надає можливість подавати БНЗ у графічному вигляді і тим самим підвищити наочність сприйняття БНЗ експертом і скоротити час їх створення та аналізу.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Усі теоретичні розробки дисертації автором доведені до конкретних інженерних методик, алгоритмів з використанням сховищ даних та інструментальних засобів інформаційної технології створення та використання БНЗ із застосуванням метаграфів.

2. На основі запропонованої моделі, методів та алгоритмів створено комплекс інструментальних засобів ІТСВ БНЗ для оброблення інформації при оцінюванні стану складних об'єктів, який включає модулі створення, редагування, статичної верифікації БНЗ та нечіткого логічного виведення на основі метаграфа, модулі підготовки та візуалізації метаграфа, модуль роботи з базами даних, що дозволяє підвищити наочність подання БНЗ та застосовувати графічні методи аналізу.

3. З використанням розробленої ІТСВ БНЗ спроектовано і реалізовано ІС Національного антарктичного наукового центру України, Національної медичної академії післядипломної освіти П. Л. Шупика та Національного центру «Мала академія наук України». Результати їх впровадження показали, що використання розробленої ІТСВ БНЗ дозволило підвищити прозорість, обґрунтованість та оперативність процесів оброблення інформації та скоротити час на підготовку та прийняття рішень за рахунок скорочення часу виконання типових завдань особою, що приймає рішення (ОПР), та дослідниками (наявні відповідні акти впровадження).

Особистий внесок здобувача. Усі результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно або за особистою участю автора. У публікаціях, що написані в співавторстві, здобувачу належать: у роботі [Технологія обробки інформації в гетерогенному інформаційно-телекомунікаційному середовищі (Електроника и связь 2008)] – алгоритм обробки інформації на основі баз нечітких знань, які є частиною інтелектуальних систем; у роботі [Створення баз нечітких знань для інтелектуальних систем управління (Комп'ютинг 2008)] – підхід до створення бази нечітких знань, що є частиною інтелектуальної системи керування складними адміністративними системами;

у роботі [Інтеграція баз даних та баз знань на основі онтології (ВІТІ 2011)] – підхід до інтеграції баз даних та баз знань; у роботі [Метод збереження та використання баз нечітких знань (Электроника и связь 2012)] – підхід до збереження нечітких баз знань у реляційних базах даних; у роботі [Представлення баз нечітких знань за допомогою метаграфа та проведення нечіткого логічного виведення на його основі (Вісник ХНУ 2014)] – означення метаграфа, що подає базу нечітких знань, опис властивостей такого метаграфа, алгоритм нечіткого логічного виведення на основі метаграфа; у роботі [Метод визуализации метаграфа (Научно-технический вестник ИТМО Санкт-Петербург 2014)] – критерії правильного графічного подання метаграфа та математичне формулювання методу візуалізації; у роботі [Based on Force-Directed Algorithms Method for Metagraph Visualization (Springer 2015)] – запропоновані правила дії сил притягання та відштовхування та їх коефіцієнти для методу візуалізації метаграфа, опис методу візуалізації метаграфа; у роботі [Формальная спецификация аномалий в базах нечетких знаний Мамдани на основе метаграфа (Вісник ХНУ 2015)] – метод статичної верифікації баз нечітких знань поданих метаграфом; у роботі [Автоматизация анализа данных цветопреференциального обследования антарктических зимовщиков (Український Антарктичний Журнал 2015)] – основні проектні рішення щодо створення ІС Національного антарктичного наукового центру України, спрямовані на автоматизацію аналізу стану антарктичних зимівників.

Апробація результатів дисертації.

Основні положення і результати дисертаційної роботи були представлені, повідомлені й одержали схвалення на:

- XXVIII міжнародній науково-технічній конференції «Электроника и связь» (Київ 2008);
- XIX міжнародній науково-технічній конференції «Системний Аналіз та Інформаційні Технології. SAIT» (Київ 2010);
- міжнародних конференціях «СВЧ-техника и телекоммуникационные

технологии. Крымико» (Севастополь 2009, 2013);

- VIII, IX міжнародних конференціях «Проблемы телекоммуникаций. ПТ» (Київ 2014, 2015);

- XI, XII міжнародних наукових конференціях ім. Т. А.Таран «Інтелектуальний аналіз інформації. ІАІ» (Київ 2011, 2012);

- міжнародних науково-технічних конференціях «Open Semantic Technologies for Intelligent Systems. OSTIS» (Мінськ, Білорусь 2012, 2015);

- 19 міжнародній конференції "Advances in Intelligent and Soft Computing. ACS 2014" (Мендзиздрє, Польща 2014).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 20 наукових праць, у тому числі 8 статей у наукових фахових виданнях (з яких 6 – у фахових виданнях України, які включено до міжнародних наукометричних баз, 2 – у виданнях іноземних держав), 1 стаття в інших виданнях, 11 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 160 найменувань, 3 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 157 сторінок, в тому числі 133 сторінки основного тексту та 17 сторінок використаних джерел. Робота містить 39 рисунків, 7 таблиць. Додатки займають 7 сторінок.

РОЗДІЛ 1

ПРОБЛЕМАТИКА СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЗАДАЧ БІЗНЕС-АНАЛІЗУ

Існування підприємств та організацій в умовах жорсткої конкуренції потребує ефективного прийняття рішень в усіх своїх підрозділах задля підвищення прибутку, скорочення витрат, скорочення ризиків. В той же час кількість доступних даних та інформації, що може використовуватися для підтримки прийняття рішень стрімко зростає. Критичною стає потреба в оперативному і своєчасному доступі до цієї інформації. Однак вона міститься у багатьох гетерогенних джерелах, а її збір та оброблення зазвичай здійснюється вручну. У зв'язку з цим підприємства та організації приходять до розуміння необхідності комплексного аналізу накопичених даних у всіх напрямках своєї діяльності. Для вирішення цієї проблеми впроваджуються аналітичні бізнес-технології, які дозволяють забезпечити зацікавлені сторони потрібною інформацією в потрібний час, використовуючи відповідні технології.

1.1. Потреби підприємств та організацій у засобах бізнес-аналітики

Для покращення роботи підприємства та організації намагаються організувати своє функціонування таким чином, щоб показники діяльності (метрики досягнень) відповідали цільовим значенням, які визначені у стратегічних цілях. Для цього виконується аналіз та корекція бізнес-процесів підприємства. Це передбачає осмислення та аналіз цілей діяльності та їх реалізації, призначення та узгодження пріоритетів, встановлення організаційних зобов'язань та відносин, вимірювання та аналіз продуктивності процесів, проведення аудиту. Загалом ключові напрямки які аналізуються та підлягають корекції є фінансова діяльність, зовнішнє оточення підприємства, тобто його ставлення до клієнтів, внутрішні процеси підприємства та персонал [1 – 6].

Для досягнення і збереження конкурентоспроможності підприємства та організації, з метою використання позитивного досвіду, вивчають господарську діяльність конкурентів (продукти, послуги, особливості процесів діяльності) та порівнюють зі своєю власною. Цей процес називається бенчмаркінг та залежно від об'єктів порівняння поділяється на внутрішній, при якому здійснюється порівняння продуктів (послуг, процесів) всередині організації; конкурентний – порівняння проводиться з прямими конкурентами; функціональний – порівнюються процеси власної організації зі схожими процесами іншої організації, яка працює в іншій сфері діяльності; узагальнений – порівняння з організаціями, які мають найкращі у своєму сегменті процеси і підходи [7].

В результаті такого аналізу для покращення продуктивності роботи підприємства та організації впроваджують інформаційні системи, які націлені на підтримку їх діяльності, за рахунок впровадження організаційних процедур, що забезпечують взаємодію між учасниками процесу, та надання доступу до інформації для можливості управління в режимі реального часу. До таких систем відносяться ERP, CRM, SCM, MES, SCADA, IETM та ін.

Найбільш часто використовуваними є ERP, CRM системи, розглянемо їх детальніше.

ERP системи (Enterprise Resource Planning System) націлені на планування ресурсів підприємства. Вони базуються на стратегії інтеграції виробництва і операцій, управління трудовими ресурсами, фінансового менеджменту та управління активами, орієнтовані на безперервне балансування та оптимізацію ресурсів підприємства за допомогою спеціалізованого інтегрованого пакету прикладного програмного забезпечення, що забезпечує загальну модель даних і процесів для всіх сфер діяльності [8, 9].

CRM системи (Customer Relationship Management) націлені на управління взаємовідносинами з клієнтами. Вони базуються на стратегії ведення господарської діяльності, спрямованій на вивчення і розуміння потреб

існуючих і потенційних клієнтів. Завдяки консолідації повної інформації про клієнтів та історії взаємодії з ними формується план залучення й утримання своїх споживачів, що у результаті гарантує збільшення прибутку. По суті CRM система розглядає клієнтів як головний актив компанії [6, 10, 11]. CRM може виступати, як складова частина ERP системи.

Описані системи дозволяють автоматизувати значну кількість процесів підприємств та організації та спрощують управління ними. Аналітичні можливості систем ERP обмежені формуванням інформації за запитами користувача. В цих системах можливо задавати планові значення показників і встановлювати їх критичні значення, при перевищенні яких система може сигналізувати та блокувати проведення подальших операцій [12].

При необхідності отримання більш повної інформації за всіма напрямками роботи з метою підвищення ефективності, оперативності та обґрунтування прийняття рішень на основі формування прогнозних фінансових звітів в умовах можливої альтернативності, можливості прогнозування тенденцій на майбутнє розглянутих систем не достатньо. Для цих цілей призначені системи які поєднуються терміном бізнес-аналітика [1 – 7, 12 – 17]. Цей термін передбачає взаємопов'язаний комплекс сучасних методів управління господарською діяльністю, побудований на сучасних інформаційних технологіях, який дозволяє забезпечити максимальну ефективність діяльності. ВІ – це сукупність технологій, програмного забезпечення і практик, спрямованих на досягнення цілей підприємств та організацій шляхом найкращого використання наявних даних [13]. Основне призначення цих застосувань і технологій полягає в зборі, накопиченні, інтеграції, аналізі даних та забезпеченні доступу до них в необхідних поданнях, це сприяє прийняттю користувачами рішень, що сприяють покращенню господарської діяльності [14]. Такі системи дозволяють швидко будувати багатовимірні звіти, проводити аналіз ключових показників ефективності, формувати прогнози, виконувати своєчасні корективи бюджетів та процесів. На відміну від ERP систем, які дозволяють оперативно

контролювати, то системи класу BI – осмислити отримані результати господарської діяльності, виявити тенденції і спрогнозувати майбутній стан положення справ підприємств та організацій, що належить до актуальних завдань сучасного бізнес-аналізу [12].

В свою чергу, ERP та CRM генерують колосальну кількість даних, яка разом з накопиченим з інших джерел великим обсягом даних є вхідною для систем бізнес-аналітики. Від цих згенерованих та накопичених даних залежить точність прогнозів і цінність висновків зроблених BI системами.

При інтеграції інструментів BI в CRM системи їх називають аналітичні CRM (ACRM) [18 – 20]. Явище інтеграції даних з декількох систем (ERP, CRM, систем управління людськими ресурсами, фінансами, ланцюжками поставок і електронною комерцією) для оброблення її за допомогою інструментів BI, отримало назву інтегрована аналітика (iAnalytics, integrated analytics). Ця технологія дає можливість розширеної аналітичної обробки інформації, дозволяючи підприємствам швидко реагувати на ситуацію на ринку, що постійно змінюється [21].

В даній роботі розглядається науково-практична задача оцінки стану складного об'єкту в умовах невизначеності. Для визначення можливості застосування систем бізнес-аналітики для оцінки стану СО розглянемо умови, в яких вона виконується.

1.2. Характеристика процесів оброблення інформації при оцінці стану складного об'єкту

Для забезпечення своєчасної оцінки стану та реакції по корекції стану СО необхідно підвищувати швидкість оброблення інформації для оцінки стану СО, забезпечувати можливість постійного моніторингу характеристик СО, в незалежності від наявності експерту, отримання вже зафіксованих характеристик з гетерогенних джерел [22 – 24] та створювати умови для додавання нових характеристик СО, які відслідковуються. Використання інтелектуальних систем для оцінки стану СО дозволить задовольнити

висунутим вимогам та позбавитись від недоліків перелічених вище. У ролі складного об'єкту, стан якого необхідно визначати може виступати, наприклад, людина, обладнання або продукція, що випускається.

Характеристика процесів обстеження людей в екстремальних умовах праці для оцінки їх стану

Якщо у ролі СО виступає людина, то необхідно розробити інформаційну технологію для розроблення інформаційних систем, що дозволить автоматизувати процес обстеження та оцінки стану людей. Лікарі та психологи з давніх часів роблять спроби описати людський організм для його подальшої діагностики та розроблення методів для корегування його стану. Наприклад, на сьогоднішній день важливою є задача діагностики захворювань. Також набуває популярності напрям підбору персоналу для формування трудового колективу з врахуванням показників психологічної сумісності, та відповідності особистих якостей фахівця займаній посаді. Для цього оцінюється психічний та психофізіологічний стан особистості, на який, в свою чергу, впливає дія факторів зовнішнього середовища, в якому функціонує фахівець. Особливого значення набуває з'ясування стану персоналу в екстремальних умовах праці.

Стрімкий розвиток численних біометричних технології ідентифікації людини, які засновані на її унікальних анатомо-фізіологічних і поведінкових характеристиках та прагнення медичних експертів та експертів психологів охопити якомога більше факторів для аналізу призводить до консолідації різних методів оцінки стану людини. Це, в свою чергу, для підвищення достовірності отримуваних результатів, вимагає постійного збору даних, які описують досліджуваних людей та на які можуть спиратися експерти роблячи висновки. Різносторонній підхід до людини потребує залучення експертів з усіх напрямків оцінки та корегування стану людини. В більшості випадків робота таких експертів організована без використання автоматизованих рішень. Лікар або психолог найчастіше використовують паперові бланки для внесення результатів діагностики/тестування. Подальша їх робота полягає в

особистій обробці отриманих даних. Такий підхід до оцінки стану має ряд недоліків, таких як використання інтуїтивних та образних уявлень експерта, рішення приймаються тільки на основі попереднього досвіду конкретного експерта, експерта не завжди в змозі бачити картину в цілому та враховувати всі фактори, які впливають на результат. В таких умовах експерти не мають доступу до архівів даних, які могли б бути накопичені при використанні інформаційних технологій з інтелектуальними системами. Така оцінка стану не враховує індивідуальні особливості досліджуваного. Також така оцінка, є дуже повільною та потребує задіяння значної кількості експертів. В розглянутих ситуаціях доцільно збирати та накопичувати знання експертів у базах нечітких знань, які в подальшому використовувати як основу для розроблення інтелектуальних систем для оцінки стану СО.

За основний приклад для розгляду задачі оцінки стану людини обрано слідкування за зимівниками на українській антарктичній станції «Академік Вернадський».

В такій ситуації оцінювати стан людини особливо необхідно, бо зимівники з комфортних, сприятливих умов переміщуються в екстремальні. Впродовж тривалого періоду часу вони не мають можливості змінити умови існування та не мають доступу до повноцінного медичного та психологічного обслуговування.

Така оцінка стану має проводитись постійно для можливості проведення заходів по корекції стану зимівника. Необхідно забезпечити можливість проведення такої оцінки стану за будь-яких умов, навіть при відсутності лікаря/психолога. Тобто необхідно забезпечити умови при яких зимівник самостійно може фіксувати свої показники, а здійснення оцінки стану, виконується автоматично, без залучення лікаря або психолога. Це можливо при організації доступу до інформаційної системи розробленої на базі інформаційної технології для оцінки стану СО. Така інтелектуальна система має надавати можливість фіксації власних показників, проведення їх аналізу в автоматичному режимі, та формування результатів дослідження в наочному,

зрозумілому для людини, що не є фахівцем цієї області, графічному вигляді.

Слідкування за станом людини в таких умовах, по-перше, дозволяє вивчити вплив екстремальних умов на організм людини, по-друге, на основі отриманих даних розробити програми по корегуванню стану людини, а також покращити необхідні умови технічного оснащення для майбутніх експедицій. Оскільки на сьогоднішній день не існує методів для автоматизованого визначення стану людини, для описаних методик, то завдання їх розроблення є актуальним.

Характеристика процесів оцінки якості продукції, що випускається

Якщо у ролі СО виступає продукція, що випускається, то на її стан впливає не менша кількість факторів, чим на людину. Оцінка її стану має проводитись враховуючи не тільки кінцеві показники. В даному випадку мають враховуватися всі фактори, які можуть вплинути на якість цієї продукції, такі як якість сировини, з якої виробляється продукція, стан обладнання та ін. Як і у випадку з людиною, при виробництві продуктів харчування значно впливає зовнішнє середовище. Так, наприклад, вагомий вплив вносить якість води, яка зазвичай береться з водоймищ розташованих поблизу. Розглянуті та інші показники мають збиратись та накопичуватись для можливості їх аналізу та надання доступу до них в довільний час та деінде. При описі умов оцінки стану людини вже було згадано та описано вимоги до інтелектуальної системи, яка може стати вирішенням поставлених завдань.

За основний приклад для розгляду задачі оцінки стану продукції обрано відслідковування якості йогуртів, які виробляються молочними підприємствами України. Задача автоматизованого визначення стану продукції є важливою бо її споживання впливає на стан здоров'я людей.

Для забезпечення оцінки стану СО у вищеописаних умовах необхідно розробити інформаційну технологію, яка базується на БНЗ. Проаналізуємо існуючі технології та виділимо проблеми, які в них існують на сьогоднішній день. Для підвищення швидкості нечіткого логічного виведення та зменшення часу виконання типових завдань експертами в процесі роботи з

розроблюваною ІС звернемо увагу на наявність наочного графічного інтерфейсу на всіх етапах роботи з БНЗ та можливість її аналізу.

1.3. Аналіз існуючих систем бізнес-аналітики

Розглянемо класифікацію систем бізнес-аналітики та їх компоненти, які існують на сьогоднішній день [15 – 17].

Системи для проведення бізнес-аналізу

Головна частина BI-інструментів ділиться на корпоративні BI-набори та BI-платформи. Більшість BI-інструментів застосовуються кінцевими користувачами для доступу, аналізу та генерації звітів на основі даних найчастіше розташованих в сховищах, вітринах даних або оперативних складах даних, які зазвичай інтегруються в центральному сховищі даних та називаються Data Warehousing.

Інструменти генерації запитів і звітів

Генератори запитів і звітів – інструменти, що виконують деякий аналіз даних з БД і формують звіти. Запити можуть бути як регламентованими та і незапланованими. Ці інструменти можуть бути розширені деякими полегшеними можливостями OLAP. Розвинені інструменти цієї категорії можуть генерувати так звану корпоративну звітність за рахунок пакетної генерації, оперативного оновлення, розсилки та публікації звітів у Web. Характерні представники – Crystal Reports, Cognos Impromptu и Actuate e.Reporting Suite.

OLAP або розвинені аналітичні інструменти

Інструменти OLAP є аналітичними інструментами, які оброблюють дані представлені у вигляді гіперкубів – логічних і фізичних моделей показників, які колективно використовують виміри, а також ієрархії в цих вимірах. Засоби OLAP дозволяють досліджувати дані по різних вимірах. Типовими для них є виміри часу, географії, організаційних одиниць, клієнтів, продуктів та ін. OLAP дозволяє організувати виміри у вигляді ієрархії. Деякі дані попередньо агреговані в БД, інші розраховуються в процесі оброблення.

Спочатку OLAP були засновані на багатовимірних базах даних, які спеціально сконструйовані для підтримки аналізу кількісних даних з великою кількістю вимірів та містять дані в чисто багатовимірній формі. Прикладом класичного OLAP-серверу є Hyperion Essbase.

Сьогодні існує різновидність ROLAP, в якій реляційні СКБД застосовуються для емуляції багатовимірних БД і підтримують багатовимірний аналіз. Прикладом ROLAP-сервера є Microstrategy7i Server. Можливість оперативного аналітичного оброблення вбудованого в реляційні СКДБ підтримують, наприклад, такі продукти як MS Analysis Services та Oracle OLAP Services.

Ще однією різновидністю є HОLAP, який підтримує гібридне оперативне аналітичне оброблення даних з джерел, що зберігають багатовимірні дані природним чином, а також у реляційному поданні.

Існують настільні OLAP-інструменти, які мають невелику продуктивність і аналітичну міць, але полегшують кінцевим користувачам перегляд і маніпулювання багатовимірними даними, які можуть надходити з серверних ресурсів OLAP. Вони можуть бути вбудовані в EBIS. Деякі з них мають можливість завантажувати куби, так що вони можуть працювати автономно. Більшість з них надає інтерфейс роботи через Excel. Практично всі OLAP-інструменти мають web-розширення. Прикладами настільних OLAP є BusinessObjects Explorer, Cognos PowerPlay, MS Data Analyzer.

Корпоративні BI-набори

EBIS (Enterprise Business Intelligence Suites) – корпоративні BI-набори інтегрують набори інструментів генерації запитів, звітів і OLAP, які раніше поставлялися у вигляді розрізнених продуктів. EBIS мають спорідненість з Web, тому деякі постачальники описують їх як BI-портали. Типові EBIS постачають Business Objects і Cognos.

BI -платформи

BI-платформи пропонують набори інструментів для створення, впровадження, підтримки та супроводу BI-застосувань. Вони організовані

навколо специфічних бізнес-проблем конкретного споживача, передбачають індивідуальне розроблення інтерфейсів кінцевого користувача, та використовують дані специфічні для цього замовника. Цю категорію продуктів представляють фірми SAP, Microsoft, SAS Institute, Oracle та інші.

BI-застосування

BI-застосування зазвичай орієнтовані на конкретну функцію або задачу підприємства та отримують дані з його ERP системи. У ці застосування часто бувають вбудовані BI-інструменти (OLAP, генератори запитів і звітів, засоби моделювання, статистичного аналізу, візуалізації та аналізу даних).

Розвідка даних

Розвідка даних (data mining) являє собою процес виявлення кореляції, тенденцій, шаблонів, зв'язків і категорій. Вона виконується шляхом ретельного дослідження даних з використанням технологій розпізнавання шаблонів, а також статистичних і математичних методів. На відміну від OLAP розвідка даних в значно меншій мірі керується користувачем, замість цього результати оброблення отримуються завдяки спеціалізованим алгоритмам, які встановлюють співвідношення між даними і допомагають розпізнати важливі, раніше невідомі тенденції, вільні від упереджень і припущень користувача.

Інші методи і засоби BI

Крім перерахованих інструментів, до складу BI можуть входити такі засоби аналізу: пакети статистичного аналізу, аналізу часових рядів, оцінки ризиків; пакети для нейронних мереж; засоби нечіткої логіки та експертні системи та ін..

Важливою складовою є засоби для графічного оформлення результатів BI. Це засоби ділової та науково-технічної графіки; цифрові дошки (digital dashboards), засоби аналітичної картографії та топологічних карт; засоби візуалізації багатовимірних даних та ін..

На рис. 1.1 продемонстровано інформаційні системи підприємства та місце систем бізнес аналітики в них.

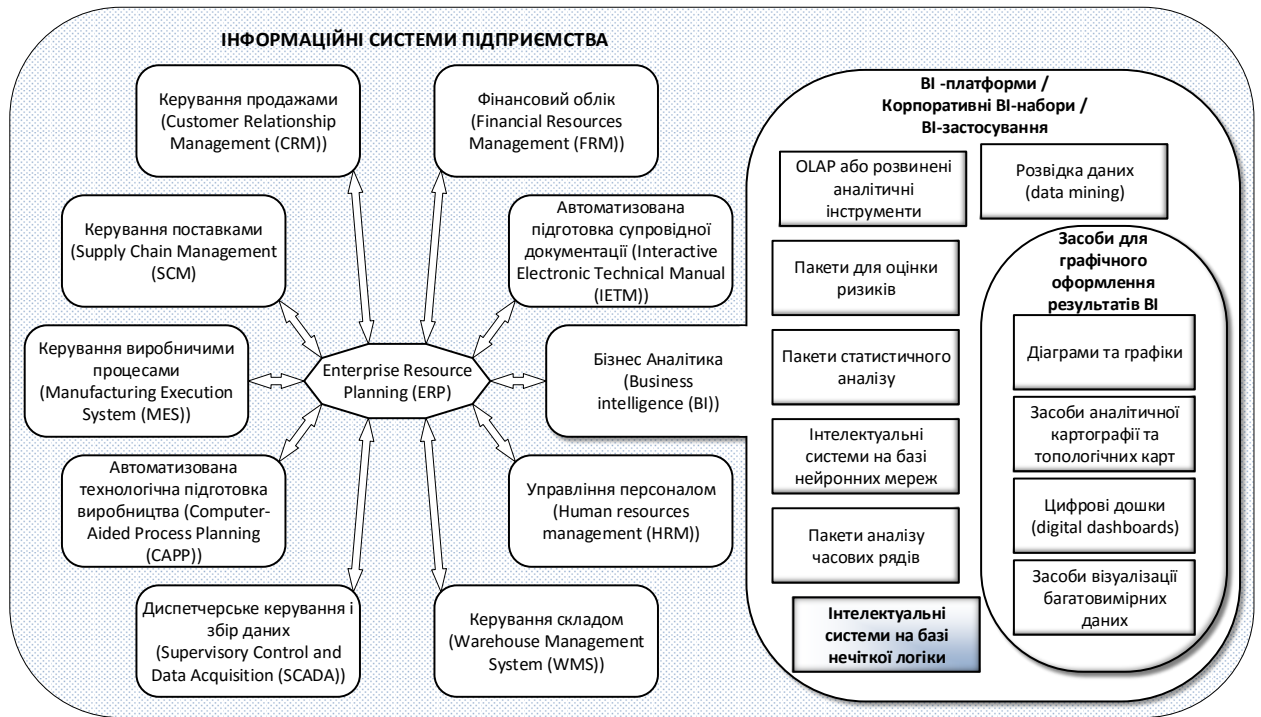


Рис. 1.1 Інформаційні системи підприємства

В ситуації коли для визначення стану складного об'єкту неможливо використати методи оброблення інформації, які базуються на статистичному аналізі, необхідно моделювати знання експертів, які здатні оцінити стан СО. В даних випадках розробляються інтелектуальні системи для бізнес-аналітики, які базуються на базах знань [25 – 27]. Необхідність використання якісних показників та нечітких понять для оцінки стану СО потребує використання БНЗ. Вони знайшли своє застосування в багатьох сферах людської діяльності, при обробці зорових сигналів, при управлінні технічними, соціальними, економічними та медичними системами, в системах штучного інтелекту і робототехнічних системах [28]. Надалі будемо розглядати побудову інтелектуальної системи, в основі якої лежить саме БНЗ.

Аналіз інструментальних засобів з використанням нечіткої логіки

Проаналізуємо наявні на даний час системи, які використовують нечітку логіку, їх можливості, переваги та недоліки. На ринку наявний ряд програмних продуктів, які використовують нечітку логіку: Бизнес-Прогноз, CubiCalc, RuleMaker, FIDE, FuzzyNET, FuzzyCLIPS, FuNeGen, NEFCON-I, Fuzzy Logic Toolbox системи MatLab, FuzzyXL, FuzzyCalc и др [28 – 30].

Детальніше системи розглянуті нижче:

- CubiCalc 2.0 RTC – одна з потужних комерційних експертних систем на основі нечіткої логіки, що дозволяє створювати власні прикладні інтелектуальні системи;
- CubiQuick – "університетська" версія пакета CubiCalc;
- RuleMaker – програма автоматичного вилучення нечітких правил з вхідних даних;
- FuziCalc – електронна таблиця з нечіткими полями, яка дозволяє робити швидкі оцінки при неточних даних без накопичення похибки;
- FuzzyTech – дозволяє проектувати та налагоджувати нечіткі системи, результатом роботи є програмний модуль, що генерується пакетом.

Найпоширенішим засобом роботи з нечіткими знаннями, особливо в науковій сфері є Fuzzy Logic Toolbox системи MatLab. Однак в цьому пакеті не передбачений графічний інтерфейс роботи з правилами та механізм виявлення аномалій для перевірки властивостей БНЗ.

Жодна з зазначених систем не надає інструментів для графічного подання БНЗ, для її подальшого аналізу та редагування. Отже актуальним є завдання розроблення інформаційної технології, яка б забезпечувала можливість створення та використання БНЗ з можливістю роботи з її наочним графічним поданням.

Вітчизняні та закордонні вчені досягли значних результатів у розробці теорії систем прийняття рішень та інтелектуальних систем [31 – 44]. Однак існує ряд проблем які залишаються невирішеними на даний час. Існуючі інтелектуальні системи створюються для вузьких задач в конкретних предметних областях, робота з ними вимагає від експерта та кінцевого користувача бути спеціалістом в інформаційних технологіях (ІТ). За рахунок відсутності наочного подання БНЗ ускладнюється процес створення, підготовки, налаштування та використання БНЗ.

1.4. Аналіз баз нечітких знань, їх властивостей та методів подання

База нечітких знань є важливою складовою частиною інтелектуальної системи. Від методів її подання, аналізу та використання залежить ефективність оцінки складного об'єкту для якого створена інтелектуальна система. Далі проводиться аналіз методів подання БНЗ, властивостей БНЗ, які можна проаналізувати, та методів візуалізації графових структур, на основі яких можна розробити метод візуалізації метаграфа, як обраного засобу подання БНЗ.

Розглянемо особливості баз нечітких знань, а саме їх типи, методи подання та використання, а також властивості БНЗ.

Структура підсистеми нечіткого логічного виведення

Системи нечіткого логічного виведення призначені для перетворення значень вхідних змінних у вихідні змінні на основі використання нечітких правил. Для цього вони мають містити базу нечітких правил і реалізовувати нечітке логічне виведення на основі посилок, поданих у формі нечітких лінгвістичних висловлювань [45].

Підсистема нечіткого логічного виведення містить такі блоки [40, 46] (рис. 1.2):

1. *Фазифікатор*, який перетворює вектор x значень вхідних змінних у вектор нечітких множин X^{input} , необхідних для виконання нечіткого логічного виведення.

2. *Функції належності (ФН)* беруть участь у процесі фазифікації і дефазифікації для визначення ступеня належності вхідних змінних нечітким множинам і для знаходження точного значення вихідної змінної.

3. *База нечітких знань*, містить інформацію про залежність між вхідними та вихідними змінними у вигляді правил «ЯКЩО-ТО».

4. *Машина нечіткого логічного виведення*, яка на основі правил бази знань визначає значення вихідної змінної X_{rez} , відповідного нечітким

значенням вхідних змінних.

5. *Дефазифікатор*, який перетворює X_{rez} у кількісне значення вихідної змінної x_{rez} .

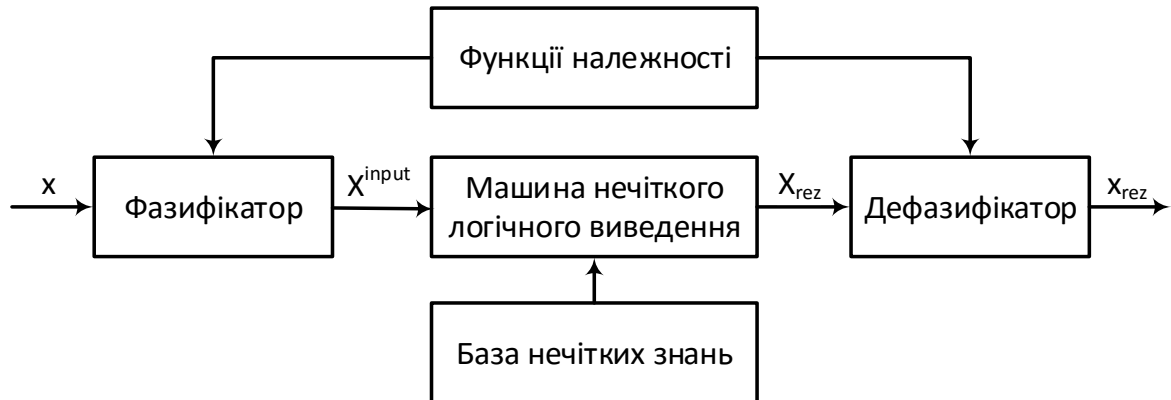


Рис. 1.2 Структурна схема підсистеми нечіткого логічного виведення

Типи баз нечітких знань

База нечітких знань це структура залежностей «вхід-вихід», які подані правилами «ЯКЩО-ТО». Такі правила відображають досвід експерта та його розуміння причинно-наслідкових зв'язків, характерних для об'єкта ідентифікації [47].

Залежно від кількості нечітких висловлювань в лівій та правій частинах правила база знань може бути подана структурою одного з таких типів:

- SISO-структура (SingleInput – SingleOutput, один вхід – один вихід);
- MISO-структура (MultiInputs – SingleOutput, багато входів – один вихід);
- MIMO-структура (MultiInputs – MultiOutputs, багато входів – багато виходів).

Довільна система типу «багато входів – багато виходів» може бути подана множиною систем типу «багато входів – один вихід» за допомогою розбиття консеквентів правил. Це збільшує кількість правил, але разом з тим моделювання та логічне виведення стають більш прозорими. Тому такі системи в даний час є популярними та широко використовуються на практиці.

Виділяють три основні типи нечітких моделей «багато входів – один

вихід» [40, 45].

1. Нечітка модель типу Мамдані, яка задається правилами такого вигляду:

$$ЯКЩО \left(X_{j_1} = t_{j_1}^{k_1} \right) ТА \left(X_{j_2} = t_{j_2}^{k_2} \right) ТА... ТА \left(X_{j_{n_j}} = t_{j_{n_j}}^{k_{n_j}} \right) ТО \left(X_l = t_l^z \right),$$

де X_{j_s} – лінгвістичні змінні (ЛЗ), а $t_{j_s}^{k_s}$ – їх терми відповідно.

2. Модель типу Сугено. Консеквенти в базі правил задаються лінійною функцією від входів:

$$ЯКЩО \left(X_{j_1} = t_{j_1}^{k_1} \right) ТА \left(X_{j_2} = t_{j_2}^{k_2} \right) ТА... ТА \left(X_{j_{n_j}} = t_{j_{n_j}}^{k_{n_j}} \right) ТО \\ \left(X_l = a_0 + a_1 X_{j_1} + a_2 X_{j_2} + ... + a_{n_j} X_{j_{n_j}} \right),$$

де $a_0, a_1, a_2, ..., a_{n_j}$ – деякі дійсні числа.

3. Нечітка модель типу сінглтон, яка задається правилами такого вигляду:

$$ЯКЩО \left(X_{j_1} = t_{j_1}^{k_1} \right) ТА \left(X_{j_2} = t_{j_2}^{k_2} \right) ТА... ТА \left(X_{j_{n_j}} = t_{j_{n_j}}^{k_{n_j}} \right) ТО \left(X_l = r_i \right),$$

де r_i – дійсне число, якими оцінюється вихід.

Нечітку модель типу Сінглтон можна вважати окремим випадком нечіткої моделі Мамдані, якщо число r_i подати у вигляді нечіткого терму з сінглтонною функцією належності.

Також її можна розглядати як окремий випадок нечіткої моделі Сугено, якщо r_i представити у вигляді вільного коефіцієнта a_0 , за умови, що всі інші коефіцієнти рівні 0.

Використання систем типу Мамдані доцільніше для розв'язання задач класифікації, систем типу Сугено – для задач апроксимації. Системи типу Сінглтон застосовні для обох класів завдань. При використанні систем типу Сугено можливо отримати кращі результати, але у той же час вона є найменш інтуїтивно зрозумілою, адже не завжди зрозуміло, як саме необхідно обирати лінійні коефіцієнти у висновках правил. Тому найчастіше використовують систем типу Мамдані. На відміну від моделей типу «чорний-ящик» нечіткі

моделі Мамдані є прозорими, їх структура змістовно інтерпретується в термінах, зрозумілих замовникам та експертам в конкретних предметних областях – лікарям, психологам, менеджерам, економістам. Прозорість нечітких моделей Мамдані є однією з головних переваг, завдяки якому нечіткі технології успішно конкурують з іншими методами, особливо для тих прикладних задач, де можливість змістовної інтерпретації важливіше точності моделювання [40, 48].

В роботі розглядаються ієрархічні БНЗ, які містять правила такого виду, як в нечіткій моделі Мамдані.

Означення 1.1. База нечітких знань – це множина правил «Якщо – То»

$P = \{P_g \mid g = \overline{1, N_P}\}$, де N_P – кількість правил БНЗ. P_g це позначення для правил виду:

$$(P_l^z)_j = \text{ЯКЩО} (X_{j_1} = t_{j_1}^{k_1}) \text{ТА} (X_{j_2} = t_{j_2}^{k_2}) \text{ТА} \dots \text{ТА} (X_{j_{n_j}} = t_{j_{n_j}}^{k_{n_j}}) \text{ТО} (X_l = t_l^z), \quad (1.1)$$

де $(P_l^z)_j$ – j -е правило для визначення z -го терму ЛЗ з ідентифікатором l , в якому X_{j_s} – лінгвістична змінна, яка оцінюється термом $t_{j_s}^{k_s}$; $s = \overline{1, n_j}$ – номер ЛЗ в лівій частині j -го правила, n_j – кількість ЛЗ, що знаходяться в лівій частині j -го правила.

Для скорочення запису введемо позначення для лівої та правої частини правила P_g :

$$P_g = (P_g^A, P_g^C),$$

де $P_g^A = \{t_{j_s}^{k_s} \mid s = \overline{1, n_j}\}$ – множина термів, які входять до лівої частини

правила;

$$P_g^C = t_l^z \text{ – терм, що є результатом правила.}$$

Для випадку коли терм є результатом в декількох правилах $(P_l^z)_j$, які визначаються формулою (1.1), та кількість правил дорівнює b , то об'єднане правило можна записати через частку «АБО». Таке правило буде мати такий

ВИГЛЯД:

$$\begin{aligned}
 P_l^z = & \text{ЯКЩО} \left(X_{j_{11}} = t_{j_{11}}^{k_{11}} \right) TA \left(X_{j_{12}} = t_{j_{12}}^{k_{12}} \right) TA \dots TA \left(X_{j_{1n_1}} = t_{j_{1n_1}}^{k_{1n_1}} \right) АБО \\
 & \left(X_{j_{21}} = t_{j_{21}}^{k_{21}} \right) TA \left(X_{j_{22}} = t_{j_{22}}^{k_{22}} \right) TA \dots TA \left(X_{j_{2n_2}} = t_{j_{2n_2}}^{k_{2n_2}} \right) АБО \dots \\
 & АБО \left(X_{j_{b1}} = t_{j_{b1}}^{k_{b1}} \right) TA \left(X_{j_{b2}} = t_{j_{b2}}^{k_{b2}} \right) TA \dots TA \left(X_{j_{bn_b}} = t_{j_{bn_b}}^{k_{bn_b}} \right) ТО \left(X_l = t_l^z \right)
 \end{aligned} \quad (1.2)$$

Кожне правило може оцінюватися ваговим коефіцієнтом $w_j \in [0,1]$, який характеризує суб'єктивну міру впевненості експерта в істинності правила. В роботах [41, 49] показано, що використання ваги правила змінює семантику лінгвістичних змінних, які входять до правила. Також можлива ситуація, коли однакові терми лінгвістичних змінних мають різні функції належності, якщо вони знаходяться в різних правилах. До того ж рекомендовано не використовувати вагу правил, а показано, що слід змінювати вигляд функції належності. В цьому випадку застосовуються синтаксичні правила, у вигляді граматик, які породжують назви термів та семантичні правила, які задають функції належності нечітких термів, породжених синтаксичними правилами. Тоді лінгвістична змінна розглядається, як п'ятірка $\langle X, T, U, G, H \rangle$ [50], в якій:

1. X_i – ім'я ЛЗ.
2. $T_i = \{t_i^k \mid k = \overline{1, N_i}\}$ – терм-множина лінгвістичної змінної X_i .
3. U – універсальна множина, область визначення ЛЗ.
4. $G = \{g_p \mid p = \overline{1, s}\}$ – синтаксичні правила, у вигляді граматики, які породжують назви термів, s – кількість синтаксичних правил.
5. $H = \{h_p \mid p = \overline{1, s}\}$ – семантичні правила, які задають функції належності нечітких термів, породжених синтаксичними правилами G .

Ієрархічні бази знань

Для спрощення подачі подальшого матеріалу введемо означення часткової та ієрархічної БНЗ.

Означення 1.2. Часткова БНЗ – це БНЗ для визначення однієї ЛЗ, що включає в себе тільки такі правила, результатами яких є терми даної ЛЗ. При цьому таку ЛЗ будемо називати ЛЗ верхнього рівня, а ЛЗ, що входять до лівих частин правил, будемо називати ЛЗ нижнього рівня.

Означення 1.3. Ієрархічна БНЗ – це БНЗ, що складається з декількох часткових БНЗ для визначення результуючої ЛЗ.

У більшості робіт присвячених нечіткій логіці розглядаються саме часткові БНЗ, та саме для таких БНЗ визначаються властивості БНЗ. Однак, при збільшенні кількості ЛЗ та їх термів експерту стає важко оперувати великою кількістю понять, що знижує прозорість БНЗ. Це обумовлено тим, що людина може одночасно оперувати не більше 7 ± 2 поняттями [39, 51, 52]. Також виникає проблема так званого "прокляття розмірності", яка обумовлена тим, що при великій кількості вхідних змінних значно ускладнюється побудова експертом причинно-наслідкових зв'язків у вигляді правил «ЯКЩО–ТО» правил, та значно збільшується кількість самих правил. У зв'язку з цим, при більшій кількості вхідних змінних доцільно їх ієрархічно класифікувати. В результаті такої класифікації, БНЗ буде являти собою систему ієрархічно пов'язаних баз нечітких знань меншої розмірності.

Зазвичай, виконання такої класифікації не становить труднощів для експерта, так як при прийнятті рішень людина ієрархічно враховує фактори, що впливають на ситуацію. Використовуючи принцип ієрархічності, можна враховувати практично необмежену кількість вхідних змінних, що впливають на оцінку виходу. Отже, застосування ієрархічних нечітких баз знань дозволяє подолати "прокляття розмірності". Їх перевага полягає і в тому, що вони дозволяють невеликою кількістю правил адекватно описати багатовимірні залежності. Особливістю ієрархічних баз знань є відсутність процедур дефазифікації та фазифікації для проміжних змінних. Результат нечіткого логічного виведення передається в машину нечіткого логічного виведення наступного рівня ієрархії. Тому, для опису проміжних змінних в ієрархічних базах нечітких знань досить задати лише терм-множини, без визначення

функцій належності [40, 47, 53]. Це дозволяє скоротити кількість інформації, яку повинен надати експерт, а також зменшити час нечіткого логічного виведення, за рахунок відсутності операцій обчислення значень ФН на кожному рівні ієрархії.

Виходячи з переваг, які надають ієрархічні БНЗ, та відсутності детального розгляду їх властивостей та інструментальних засобів, які надають можливість наочної роботи з ієрархією правил, в даній роботі розглядаються саме вони. А задача визначення та аналізу їх властивостей, а також створення програмного забезпечення роботи з ними в графічному режимі є актуальною.

Нечітка логічна модель об'єкту

Зауважимо, що буде розглядатися БНЗ, яка сформована для визначення однієї ЛЗ, яку будемо називати результуючою та позначати X_{rez} . ЛЗ, значення яких визначається за допомогою фазифікації або відразу задаються в якісному вигляді, будемо називати вхідними і позначати $X^{input} = \{X_i^{input} \mid i = \overline{1, N_{X^{input}}}\}$. Для вхідних змінних не існує правил, що їх визначають. Решта ЛЗ є проміжними, позначатимемо їх, як $X^{intermediate}$.

Нечітка логічна модель об'єкту складається з:

1. Мова:

1.1. Множина вхідних змінних $x = \{x_w \mid w = \overline{1, N_{X^{input}}}\}$.

1.2. Результуюча змінна x_{rez} .

1.3. Множина всіх ЛЗ $X = \{X_i \mid i = \overline{1, N_X}\}$, $X = \{X^{input}, X^{intermediate}, X_{rez}\}$,

де X_i – ім'я ЛЗ, N_X – загальна кількість ЛЗ.

1.4. Терм-множини ЛЗ $T_i = \{t_i^k \mid k = \overline{1, N_i}\}$, де терм t_i^k – терм, який має ФН $\mu_{t_i^k}$, k – номер терму, N_i – кількість термів ЛЗ X_i .

2. Аксиоми: множина правил $P = \{P_g \mid g = \overline{1, N_P}\}$.

3. Схема виведення: нечітке логічне виведення Мамдані.

3.1. $Fuz : (x_w \mid w = \overline{1, N_{X^{input}}}) \xrightarrow{\text{фазифікація}} X^{input}$.

$$3.2. \text{Inference} : X^{input} \xrightarrow{\text{нечітке виведення на основі БНЗ}} X_{rez},$$

де невизначено порядок застосування правил та для знаходження кожної

$$X_l, l = \overline{1, N_X} \text{ для всіх } z = \overline{1, N_l} : \text{обчислити } \mu_{t_l^z} = \bigvee_{p=1}^b \left(\bigwedge_{q=1}^{n_j} \mu_{t_{jq}^{kpq}} \right).$$

$$3.3. \text{DeFuz} : X_{rez} \xrightarrow{\text{дефазифікація}} x_{rez}.$$

Аналіз властивостей баз нечітких знань

Правильність результатів виведення отриманих при роботі інтелектуальних систем, що базуються на БНЗ залежить від наявності в них аномалій та помилок. Аномалії можуть з'являтися при створенні та наповненні бази знань. Аномалії вказують на те, що в базі знань існують проблеми, які можуть призвести до отримання неправильних результатів виведення, або про неможливість виконати логічне виведення взагалі.

У 80-90-х роках активно розвивався напрямок верифікації та валідації баз знань. Було створено багато прикладних програм [54], які перевіряли БЗ на присутність аномалій, однак вони орієнтувались на конкретні мови програмування, предметні області, тощо. Також їх недоліки полягали в тому, що вони не знаходили всі типи аномалій, та в багатьох випадках обмежувались тільки деякими. Хоча, автоматичні засоби виявлення аномалій можуть бути ефективними, але неправильно було б на них повністю покладатись для побудови високоякісних систем. Бо важливо, щоб ці засоби дозволяли підвищувати ефективність виявлення аномалій ще в процесі проектування та були складовою частиною середовища розроблення та наповнення баз знань. Також проблемою, яка виникає при автоматичній перевірці баз знань, є комбінаторний вибух при збільшенні кількості правил. Для вирішення цієї проблеми необхідно розділяти бази знань на менші частини, або використовувати евристики [55, 56].

У роботах [57, 58] описані аномалії, які можуть бути присутні в продукційних базах знань, а саме надлишковість, суперечливість,

зациклювання і неповнота. При відсутності описаних аномалій кажуть, що база знань має властивості ненадлишковості, несуперечливості, не містить зациклювання та є повною [59 – 77].

Надлишковість

Під надлишковою БНЗ в роботах [57 – 59, 62] розуміють таку, в якій містяться правила, що дублюють одне одного.

В роботі [59] вказується, що наявність однакових правил при автоматизованій побудові БНЗ може свідчити не про надлишковість, а про необхідність посилення правила, що повторюється, або модифікації даних правил. Також слід зазначити, що в роботах [60, 61, 66] розглядається поняття подібності правил, при якому однаковими правила вважаються, якщо їх міра подібності не нижче заданого порогу. Такі правила також мають видалятися з БНЗ при перевірці на надлишковість за винятком вище описаного випадку.

У роботах [57, 58, 62], як ті, що вносять надлишковість, також розглядаються правила, в яких при однакових результатах присутні включення умов. Сюди ж відносять випадки з присутністю правила, що не може виконатися і консеквента, що не використовується.

Суперечливість

У нечіткій логіці не працює закон суперечливості Аристотелевої логіки, який виключає одночасну істинність твердження і його заперечення. В БНЗ протиріччя буде мати місце при одночасно високих значеннях ступенів впевненості для різних за змістом термів ЛЗ (наприклад, високий і низький з однаковою великою мірою впевненості) [64].

У роботі [62] продукційні бази знань вважаються суперечливими, якщо при однакових вхідних даних отримуються різні результати. В роботі [59] БНЗ називається несуперечливою, якщо в ній відсутні несумісні правила, тобто правила, що мають однакові умови, але різні результати. Також в даному випадку застосовують поняття схожості для правил. Тобто правила зі схожими лівими частинами і різними правими вважаються суперечливими. Однак для знаходження таких суперечливих правил необхідно розглядати функції

належності термів, а також проводити нечітке логічне виведення.

Зациклювання

У роботах [57, 58] зазначається, що в продукційній базі знань присутнє зациклювання, коли існують ЛЗ, які залежать від себе через послідовність правил. У роботах [75, 77] виділяються два типи циклів прямий і непрямий. Прямий цикл вказує на наявність правил, у яких результат правила присутній в умові того ж правила. Непрямий цикл присутній у випадку, якщо факти залежать від себе ж через кілька правил.

Повнота

Під неповною розуміють таку БНЗ, використовуючи яку неможливо провести логічне виведення для ряду певних наборів вхідних даних [62].

У роботі [59] показано, що, виходячи з набору правил, можна визначити тільки лінгвістичну повноту БНЗ. Для визначення інших видів повноти, таких як повнота нечіткої моделі, повнота нечіткого розбиття і чисельна повнота БНЗ, необхідно розглядати функції належності термів ЛЗ, а також проводити нечітке логічне виведення. Зауважимо, що в роботі [59] розглядаються тільки такі види БНЗ, які в даній роботі визначені як часткові.

Виходячи з проведеного аналізу властивостей БЗ видно, що в більшості вони визначаються для продукційних БЗ, або для БНЗ, які в даній роботі визначені як часткові, а отже актуальним є завдання визначення умов коли ієрархічна база нечітких знань має ці властивості. Також з проведеного аналізу можна зробити висновок, що виправлення знайдених аномалій не може бути покладено на інтелектуальну систему, для цього залучаються експерти. Отже важливим завданням є надання експертам зручного інструменту для виявлення та виправлення аномалій, які виникають в БНЗ на етапі наповнення, додавання нових та видалення застарілих знань.

Аналіз методів подання баз нечітких знань

Ефективність роботи інтелектуальних систем залежить від методів подання БНЗ і методів логічного виведення [39, 78 – 80]. Існує багато методів подання баз знань. Ці методи впливають на швидкість проведення логічного

виведення та деякі з них можуть використовуватися для зменшення часу для виявлення аномалій та визначення чи відповідає база знань певній властивості.

По-перше, БНЗ може подаватися у текстовому вигляді, коли правила записані у вигляді «ЯКЩО–ТО». Це найгірший випадок, бо він потребує повного перебору правил при довільній операції.

Також для реалізації баз нечітких знань можна використовувати спеціалізовані мови програмування, наприклад, Пролог. Для цього необхідно подавати існуючі поняття нечіткої логіки за допомогою мови Prolog [81] або розширити мову Пролог. Існує спеціальний варіант мови – Fuzzy Prolog [82 – 84]. Основним недоліком є необхідність інтеграції платформи підприємства з системою, яка підтримує спеціалізовану мову для реалізації БЗ та залучення ІТ спеціалістів, які володіють даною мовою для розроблення БЗ. Пошук аномалій при такому поданні потребує інструментальних засобів, які б аналізували програмний код Prolog та знаходили в ньому аномалії.

У роботі [56] база знань подається таблицями прийняття рішень, а у роботах [75, 76] матричним поданням. Але ці методи мають свої недоліки, які полягають у складності такого подання та необхідності застосування різних форм для кожного окремого випадку виявлення аномалій. Також вони не надають можливості подання ієрархічних БЗ.

Найбільш поширені методи для подання ієрархічних БЗ є графові структури. Розглянемо їх детальніше.

В останній час теорія графів [85 – 91] активно розвивається, з'являються нові види графів, в основі яких лежить поняття графа, але вони мають свою структуру та відмінні від графа компоненти та властивості. Поява нових графових структур викликана потребою підвищення ефективності розв'язання існуючих або необхідністю розв'язання нових задач. Специфіка таких задач потребує структур, які дозволяють подати їх предметні області або структуру самої задачі найбільш природньо. Розглянемо різновидності графових структур для подання БНЗ. До них відносяться деревоподібні структури, бінарні діаграми рішень, та/або графи, гіперграфи, метаграфи, та інші.

В роботах [92 – 96] пропонується зведення невпорядкованої БНЗ до деревоподібної структури, за рахунок використання ієрархічності оцінювання інформації в складних адміністративних системах. Однак, не кожна предметна область, до розв’язання задач якої застосовуються нечіткі логічні моделі, має природну ієрархію, в деяких випадках також можливе використання однієї й тієї ж ЛЗ на різних рівнях ієрархії.

Використання бінарних діаграм рішень [97] для подання баз нечітких знань описано в роботах [73, 74]. Подання БНЗ за допомогою та/або графів [98 – 102] розглядається в роботах [93, 103]. Подання БНЗ гіперграфом описано в роботі [104]. В роботах [105 – 107] надається поняття нечіткого гіперграфу. В роботі [108] вводиться поняття Bipolar Fuzzy Hypergraphs (біполярного нечіткого гіперграфу).

Розглянуті методи подання баз знань у вигляді графових структур мають ряд недоліків наведених нижче. По-перше, розглянуті варіанти не забезпечують однозначної взаємовідповідності між БНЗ та її поданням у вигляді графової структури. По-друге, має місце дублювання елементів, та як наслідок багаторазове їх обчислення при побудові логічного виведення. По-третє, не всі розглянуті структури дозволяють подати БНЗ, а розраховані тільки на продукційні БЗ. А також не надають механізмів визначення властивостей БНЗ на етапах наповнення на редагування.

Аналіз метаграфа, як засобу подання баз нечітких знань

Гіперграф це узагальнення графа, в якому ребром називається не пара вершин графа, а довільна підмножина вершин графа [101, 109 – 111].

Зауважимо, що між метаграфом та гіперграфом існують принципові відмінності. Гіперграф був придуманий як формалізм, який дозволяє моделювати складний порядок обходу вершин графа. Цей підхід, зокрема, знайшов застосування при конструюванні електронних мікросхем. Головне завдання метаграфа – моделювання складних ієрархічних об’єктів і систем [112].

Найбільш повний та детальний опис метаграфа надано в роботі [44], де

метаграф був визначений, як двійка $S = \langle X, E \rangle$, де X – породжуюча множина, що містить змінні, які використовуються для опису предметної області, та E – множина ребер. Ребро в згадуваній роботі визначається як $e = \langle V_e, W_e \rangle \in E$, тобто складається з множин *invertex* – $V_e \subset X$ та *outvertex* – $W_e \subset X$, кожна з яких може включати довільну кількість елементів. В цій же роботі висунута ідея подання БЗ метаграфами. Подання нечітких знань метаграфом розглянуто у роботі [80].

У роботах [112, 113] в силу специфіки розв’язуваної задачі, за аналогією до теорії гіперграфів, до означення метаграфа були додані ще дві складові: множина метавершин та множина метаребер. В цьому випадку означення метаграфа виглядає таким чином: $S = \langle X, X_M, E, E_M \rangle$, де X – породжуюча множина; X_M – множина метавершин; E – множина ребер, визначених на множині X ; E_M – множина метаребер, визначених на множині $X_M \cup X$.

Оскільки для вирішення завдань поставлених у даній роботі важливі типи вузлів і їх співвідношення, доцільно розширити означення, дане в [44], і виділити окремо множину вершин і множину метавершин метаграфа. Виділяти і окремо розглядати метаребра немає необхідності, так як для поставлених задач важливим є наявність ребер, але не їх тип. У зв’язку з цим множина ребер буде містити всі ребра метаграфа, незалежно від того, які типи вузлів метаграфа вони з’єднують. Означення метаграфа, яке враховує ці припущення запропоноване та наведене у розділі 2.

Порівняння методів подання баз нечітких знань

На основі проведеного аналізу було виділено критерії та за ними проведено порівняння методів подання баз нечітких знань (табл. 1.1).

Порівняльна характеристика методів подання баз нечітких знань

Подання / Критерій	Текстове подання	В кодї програми	Таблиці прийняття рішень	Матричне подання	Подання матрицею знань	And/Or графи	Бінарні діаграми рішень	Гіперграф	Метаграф
Можливість подання ієрархічних БНЗ	+	+	-	-	-	+	+	+	+
Відсутність надлишкових елементів у поданні БНЗ	-	-	-	-	-	-	+	+	+
Наочність подання сукупності правил	-	-	+/-	-	+/-	+/-	+/-	+/-	+
Наочне відслідковування експертом залежностей між змінними	-	-	-	-	-	+	+	+/-	+
Перевірка властивостей БНЗ за рахунок подання	-	-	-	+	-	+/-	+/-	-	+/-
Наочність подання для перевірки властивостей БНЗ	-	-	-	-	-	+/-	+/-	+/-	+/-
Можливість підвищення швидкості проведення нечіткого логічного виведення за рахунок такого подання	-	+	-	-	-	+/-	+	+/-	+/-

«-» – не задовольняє критерію,

«+» – задовольняє критерію,

«+/-» – задовольняє критерію не в повному обсязі

З проведеного аналізу видно, що для підвищення швидкості проведення нечіткого логічного виведення та аналізу БНЗ для виправлення помилок та неточностей, існуючі методи подання баз нечітких знань, не в повній мірі задовольняють поставленим вимогам. Тому завдання підвищення швидкості побудови, редагування та аналізу БНЗ на відповідність основним властивостям, та зменшення часу проведення нечіткого логічного виведення, за рахунок розроблення ІТСВ БНЗ метаграфа є актуальним.

1.5. Аналіз методів візуалізації графових структур

Проведемо аналіз методів візуалізації графових структур для розроблення на їх основі метода візуалізації метаграфа.

Популярність візуального подання інформації в усіх сферах діяльності зростає з появою нових методів побудови форм, електронних бланків, засобів

побудови гістограм і графіків, засобів аналізу та взаємодії з графічними зображеннями. При візуалізації інформації дані перетворюються в такий вигляд, щоб використовувати здатність людини аналізувати зорові образи. Графічне подання дозволяє підвищити ефективність аналізу даних. За допомогою графічного аналізу можна уникнути порівняння множини величин, яке неминуче при аналізі даних, які подані в текстовому вигляді.

На сьогоднішній день розвиток отримали методи генерації зображень графів і графових структур як малих (до 200 вершин), так і великих розмірів (тисячі вершин). Класичні силові алгоритми засновані на фізичних аналогіях і можуть бути використані для побудови графів довільного виду. Зображення, створені з їх допомогою, містять мало перетинів ребер і є симетричними [114]. Для візуалізації графів великих розмірів існують багаторівневі алгоритми [115, 116]. Вони вимагають розв'язання задач кластеризації та GC-фільтрації графа, які є NP-повними [117]. У роботах [118, 119] розглядаються методи візуалізації гіперграфів для відображення даних великих обсягів.

Силові алгоритми візуалізації графів малого розміру

Найпростішими є алгоритми візуалізації графів малого розміру, засновані на фізичних аналогіях або силові алгоритми. Вони інтуїтивні й придатні для побудови графів довільного виду. До цієї групи відносяться «пружинні алгоритми» [120, 121], алгоритми, що імітують дію сил гравітації [122] і магнітних сил, а також алгоритми, засновані на мінімізації енергії [123]. Основу довільного силового алгоритму складають дві компоненти:

1. Модель, що описує систему з фізичних об'єктів і взаємодію між цими об'єктами.
2. Алгоритм, який обчислює стан рівноваги для цієї системи.

Модель будується з урахуванням критеріїв, які показують, яке зображення вважатиметься хорошим. Математичне подання цих критеріїв відображається у цільовій функції, що зв'язується з моделлю. Алгоритм дозволяє оптимізувати цю цільову функцію.

Найчастіше модель виражається у термінах сил чи енергії. Якщо система

описана за допомогою сил, що діють на об'єкти у системі, то цим об'єктам дозволено рухатися під їх впливом. Система поступово прийде в стан рівноваги, в якому всі сили врівноважують одне одного. Якщо система заснована на енергії, то алгоритм шукає стан мінімуму цієї енергії. Ці моделі є схожими, бо сила є негативним градієнтом енергії, з чого випливає що положення рівноваги відповідає локальному мінімуму енергії.

Перший алгоритм запропонований для автоматичного проектування топологій інтегральних мікросхем у вигляді графа був запропонований Пітером Ідесом [120]. Фрюхтерман і Рейнгольд додали в своєму алгоритмі [121] вимогу «рівномірного розподілу вершин» і модифікували сили, що діють на вершини. Алгоритм Фрюхтермана і Рейнгольда має проблему розміщення розріджених графів. Для таких графів відстані між вершинами можуть бути занадто великими. Тому в методі Graph embedder (GEM) [124] була введена ще додаткова сила гравітації, яка залежить від кількості ребер, інцидентних вершині, і штовхає кожну вершину до загального центру тяжіння. Також введено механізм, що дозволяє зменшити кількість ітерацій. Якщо напрямок руху вершини не змінився з минулої ітерації в межах 45 градусів, то швидкість руху підвищується, інакше, якщо спостерігається поворот або осциляція – знижується. Управління прискоренням вершини відбувається за допомогою впливу на вектор $\delta v(t)$, який залежить від локальної температури, яка і змінює своє значення.

Специфіка гравітації стає помітніше, якщо в графі є слабо пов'язані щільні частини. У цьому випадку за відсутності сили гравітації довжини ребер сильніше розрізняються, ніж за наявності гравітації.

В деяких випадках при візуалізації орієнтованих графів бажано, щоб всі ребра були спрямовані в одну сторону, у алгоритмі [125] запропоновано модель пружини, яка одночасно є магнітом і може обертатися в магнітному полі як стрілка компаса. Для цього додається сила магнітного поля, що діє на кожне ребро. Рівні за величиною, але протилежно спрямовані сили, застосовуються до обох вершин кожного ребра в спробі вирівняти це ребро з

вектором магнітного поля.

Ще одним алгоритмом є алгоритм Камада-Кавая [123], який подає енергетичну модель. Він є обчислювально витратним, оскільки вимагає обчислення найкоротших шляхів між усіма парами вершин, але його перевагою є просте і зрозуміле означення того, що є гарним розміщенням.

Модель LinLog [126] при розміщенні групує сильно пов'язані вершини і розділяє слабо пов'язані, показуючи, таким чином, розбиття вершин на кластери. Існує дві модифікації моделі LinLog: модель вершинного відштовхування і модель реберного відштовхування.

Силові алгоритми візуалізації графів великого розміру

Найбільш витратним за часом кроком силових алгоритмів є обчислення сил відштовхування, що діють між усіма парами вершин і вимагають часу обчислень не менше $O(|V|^2)$. Цю проблему вирішують за допомогою алгоритмів розміщення, заснованих на апроксимації сил відштовхування. Сітковий варіант алгоритму Фрюхтермана-Рейнгольда [121] є прикладом простого, але неточного методу апроксимації сил відштовхування. Більш відповідний спосіб прискорення таких обчислень відомий у фізиці під назвою методу Бернерса-Хата [122]. Основна ідея цього методу полягає в тому, що сили, які діють на вершину v з боку інших вершин, розміщених в близькому оточенні цієї вершини, обчислюються окремо з боку кожної вершини v . В той же час внесок сили, що діє з боку групи вершин $S = \{w_1, \dots, w_k\} \in V$, розташованих досить далеко від вершини v , апроксимується. Зокрема, сила, діє на вершину v з боку групи вершин S , замінюється груповою силою, заряд якої вважається розміщеним в центрі мас вершин з S . Цю апроксимацію можна застосовувати рекурсивно.

Крім квадратичної оцінки складності обчислення сил відштовхування, ще однією важливою проблемою силових алгоритмів є те, що при випадковому початковому розміщенні, для великих графів потрібно багато ітерацій для отримання конфігурації локального мінімуму. Тому для скорочення кількості

ітерацій бажано мати хороше початкове розміщення. Цю проблему вирішує багаторівневий підхід до розміщення.

Перший багаторівневий силовий алгоритм, що добре розміщував граfi, які мають більше 1000 вершин розроблений у роботі [127]. У ньому була запропонована двофазна модель багаторівневого алгоритму, що складався з фази огрублення і фази уточнення.

Швидкий багатошкальний алгоритм Харела і Корена [117] використовує для огрублення графа GC-фільтрацію. Евристика Харела і Корена заснована на тому ж естетичному критерії, що й метод Камада-Кавая: вершини, близько розташовані в графі, мають бути розташовані близько на зображенні. Використовуючи цю евристику, можна апроксимувати хороше розміщення, використовуючи алгоритм для проблеми k-кластеризації.

Ще один багаторівневий метод під назвою GRIP був запропонований в роботі [128]. У цьому методі, фаза огрублення заснована на побудові фільтрації максимальних незалежних множин або MIS-фільтрації множини вершин.

Концептуально найпростіший з багаторівневих методів – це метод Walshaw [129], заснований на паросполученнях.

Візуалізація гіперграфів

Візуалізація складних гіперграфів з багатьма вершинами та багатьма ребрами викликає значні труднощі, однак існують методи візуалізації гіперграфів. Розглянемо їх нижче.

Традиційним методом візуалізації гіперграфів є діаграма Венна, яка подає кожне ребро гіперграфа у вигляді фігури, що охоплює всі вершини в ребрі. На діаграмі Венна легко зобразити перетин ребер, але тільки тоді, коли менш ніж чотири ребра перетинаються. Кількість ребер, що перетинаються є критичною для зображення.

Метод *clique* [130] подає графічне зображення гіперграфа, як звичайний граф в якому ребро гіперграфа подається набором вершин пов'язаних кратними ребрами. Тому число ребер квадратично залежить від кількості

вершин у ребрах гіперграфа.

Метод node-coloring [131, 132] подає всі вершини на зображенні однаковим кольором або формою. Метод має три важливих обмеження: вершини, пов'язані більш ніж одним ребром гіперграфа мають бути розділені на по-різному пофарбовані ділянки; кількість ребер гіперграфа, що відображаються, обмежена набором кольорів, які можна використовувати; щоб знайти всі вершини, які входять до ребра гіперграфу, потрібне візуальне сканування кожного ребра в зображенні гіперграфу.

Метод EGAN [119] подає ребра гіперграфа у вигляді вузлів асоціацій. Вузли асоціацій наведені у різних формах і кольорах, щоб відрізнитися від вузлів вершин. Вузол асоціації дозволяє користувачеві безпосередньо знайти ребро гіперграфа на зображенні у ролі асоціації вузла, а потім візуально слідувати лініям з цього вузла до вузлів, які є вершинами, що пов'язані цим ребром гіперграфа. Графічне подання гіперграфа, отримане цим методом, добре масштабується по відношенню до розміру кожного ребра гіперграфа, а також до числа цих ребер.

Порівняльна характеристика алгоритмів візуалізації графових структур

Експериментальні порівняння алгоритмів візуалізації графів розглянуті у роботах [133, 134]. Порівняння проводились для різноманітних типів графів, з кількістю вершин до ста тисяч. Також порівнювались результати зображення розріджених і сильно пов'язаних графів, сіткових графів, графів типу «зірка», графів з тривимірними координатами. Важливим параметром порівняння є кількість вершин, візуалізація якої не займає порівняно багато часу. Також на час візуалізації у свою чергу впливає і кількість ребер, але у меншій мірі. Методи візуалізації переважно не враховують напрям ребер графів для того щоб не збільшувати час роботи алгоритму, тому більшість методів не має механізмів для зображення орієнтованих графів. Методи для візуалізації графів великого розміру частіше не враховують і вимоги малої кількості перетинів ребер. У табл. 1.2 наведена порівняльна характеристика

розглянутих методів візуалізації графових структур. Вираз $diam(G)$ позначає діаметр графа G .

Таблиця 1.2

Порівняння методів візуалізації графових структур

Алгоритм	Складність алгоритму	Допустима для візуалізації кількість вершин	Можливість зображення іншого типу графу			
			зважений граф	орієнтований граф	гіперграф	метаграф
Модель Ідеса	$O(V ^2)$	30	-	-	-	-
Фрюхтермана і Рейнгольда	$O(V ^2)$	180	-	-	-	-
Фрюхтермана і Рейнгольда (сітковий)	$O(V)$	до 1000	-	-	-	-
GEM	$O(V ^3)$	до 1000	-	-	-	-
Сугіяма і Мізю	не визначалось	до 150	-	+	-	-
Камада-Кавая	$O(V ^3)$ знаходження найкоротших шляхів, $O(V ^2)$ пам'яті	до 1000	-	-	-	-
LinLog	не визначалось	більше 500	+	-	-	-
Бернерса-Хата	$O(V \log V)$ побудова квадро-дерев	більше 1000	+	-	-	-
Харела і Корен	$\theta(V E)$, $O(V /2)$ пам'яті	15606 за 73 с	-	-	-	-
GRIP	$\theta(V (\log diam(G)^2))$ за винятком часу, необхідного для побудови MIS- фільтрації	16000 за 40 с	-	-	-	-
Walshaw	$O(V (V ^2 + E))$	до 100тис 10-20хв	-	-	-	-
EGAN	не визначалось	1000	-	-	+	-

Як видно з проведеного аналізу, на сьогоднішній день не існує методу візуалізації метаграфа. Візуалізація метаграфа надасть можливість графічного аналізу баз нечітких знань, поданих метаграфом. Це дозволить наочно редагувати БНЗ, яка подана за допомогою метаграфа, визначати та аналізувати її властивості, які важко виявити, використовуючи текстове або формальне подання. Велика кількість елементів БНЗ, а також їх часта зміна призводить до необхідності оновлення зображення метаграфа, що складно реалізувати

вручну. Внаслідок цього завдання автоматичної побудови графічного подання метаграфа є актуальним.

1.6. Концепція інформаційної технології створення та використання баз нечітких знань із застосуванням метаграфів

З аналізу умов, при яких проводиться оброблення інформації для оцінки стану СО можна зробити наступні висновки. По-перше, необхідно забезпечити якомога оперативніше оброблення інформації. По-друге, для оцінки психофізичного стану людини залучення не тільки лікарів та психологів, а й допоміжного персоналу має бути мінімальним. Для випадку оцінки стану продукції інформація може надходити із лабораторій або датчиків, теж без залучення допоміжного персоналу. Отже, інформаційна технологія має забезпечувати процеси отримання, накопичення, оброблення даних та інформації, а також процес взаємодії з користувачем. Процес отримання повинен включати процедури збору, перевірки та введення отриманих даних, які описують СО та власне БНЗ. Процес накопичення повинен включати процедури архівації, оновлення та пошуку даних та БНЗ. Процес оброблення інформації повинен включати процедуру підготовки, до якої входять подання БНЗ метаграфом, підготовка метаграфа, та статична верифікація БНЗ, процедуру логічного виведення для оцінки стану СО та процедуру генерації результатів оброблення інформації. Процес взаємодії з користувачем повинен включати процедури введення, виведення даних та інформації у текстовому та графічному вигляді. Ці процеси та процедури повинні реалізовуватися такими модулями:

- модуль отримання даних та інформації;
- модуль валідації та верифікації інформації;
- модуль аналітики (оброблення інформації);
- сховища даних;
- інтерфейси користувача.

Висунемо вимоги до ІТСВ БНЗ:

- забезпечення оцінки стану СО на основі знань експертів, які закладені в БНЗ;
- надання інструментарію для створення, редагування та аналізу БНЗ на відповідність властивостям;
- надання доступу до даних та інформації в довільний час та довільному місці при наявності мережі;
- забезпечення віддаленого доступу для користувачів системи;
- забезпечення автономної роботи користувача;
- забезпечення багатокористувацького доступу до системи;
- можливість інтеграції з існуючими інформаційними системами підприємств та організацій;
- багатоплатформеність та незалежність від операційної системи клієнтської частини;
- забезпечення наочних та зрозумілих інтерфейсів, для підтримки роботи користувачів, які не є фахівцями в ІТ та заданій предметній області.

Враховуючи висунуті вимоги, необхідно запропонувати архітектуру інформаційної технології, розробити комплекс інструментальних засобів, який би включав відповідні модулі оброблення інформації, розробити інтерфейси взаємодії.

Виходячи з висунутих вимог архітектура інформаційної технології має бути розподіленою, надавати можливість працювати при відсутності мережі між складовими частинами, вимагати якомога меншу кількість пристроїв та їх ресурсів. На сьогоднішній день рішенням, яке може задовольнити ці вимоги може бути використання web-орієнтованої архітектури. Така архітектура зазвичай включає сервер БД, сервер застосувань, web-сервер та програму переглядач (браузер), яка надає доступ кінцевому користувачу до необхідних застосувань. За сховище даних доцільно використовувати реляційну БД. Сервер застосувань та web-сервер обираються після аналізу інформаційного середовища організації чи підприємства та згідно до додаткових вимог та умов замовника. Передача інформації між web-сервером та браузером здійснюється

по протоколу http, або при необхідності збереження конфіденційності даних по захищеному https.

Наведемо переваги використання такої архітектури. По-перше це те що пристрій кінцевого користувача не має бути ресурсомістким, єдиною вимогою для нього є наявність браузера та підключення до мережі. По-друге спрощується адміністрування бо всі розгортання та налаштування програмного забезпечення здійснюються на серверах, та на них не впливають користувацькі налаштування.

Висновки

1. Проведено аналіз потреб підприємств та організацій у засобах бізнес-аналітики, аналіз умов при яких проводиться оцінка стану складного об'єкту, аналіз інструментальних засобів, які використовують нечітку логіку, який показав, що жодний з них не дозволяє працювати з БНЗ використовуючи її графічне подання, а також перевіряти наявність властивостей ієрархічних БНЗ, виходячи з цього показана необхідність розроблення ІТСВ БНЗ.

2. Проведено аналіз особливостей побудови та використання інтелектуальних систем на основі БНЗ для оцінки стану СО, показана необхідність використання ієрархічних БНЗ, проведення статичної верифікації для перевірки на наявність їх властивостей, що дозволить підвищити якість та швидкість нечіткого логічного виведення.

3. На основі аналізу підходів до побудови, зберігання та використання БНЗ виявлено, що на сьогоднішній день не існує ефективного інструменту, який би дозволяв візуалізувати бази нечітких знань, що обумовлює складність сприйняття їх структури та неможливість роботи з ними в графічному вигляді.

4. Аналіз методів подання та використання БНЗ показав певні недоліки, для усунення яких необхідно удосконалити нечітку логічну модель, яка побудована для оброблення інформації, за рахунок подання ієрархічної бази нечітких знань у вигляді метаграфа.

5. Проведено аналіз методів та алгоритмів візуалізації графових

структур, визначено їх основні переваги та недоліки, за результатами складено таблицю порівняльних характеристик, та показана необхідність розроблення методу візуалізації метаграфів.

6. Проведено аналіз вимог до інформаційної технології, який висвічує необхідність створення інструментальних засобів для оцінки стану складного об'єкту, які мають надавати віддалений доступ до зібраних та накопичених даних шляхом реалізації наочних графічних інтерфейсів користувачів, реалізовувати методи та алгоритми оброблення інформації.

РОЗДІЛ 2

ПОДАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ БАЗИ НЕЧІТКИХ ЗНАНЬ У ВИГЛЯДІ МЕТАГРАФА

Проведений в першому розділі аналіз методів подання та використання баз нечітких знань показав необхідність розроблення ІТСВ БНЗ.

У першому розділі висвітлено ряд недоліків, які виникають при використанні БНЗ. Це необхідність повного перебору правил в неупорядкованій БНЗ для побудови нечіткого логічного виведення, а також відсутність ефективних механізмів для перевірки БНЗ на відповідність властивостям. Це може призвести до тривалого часу роботи з такою системою, що в деяких випадках є неприпустимим, та в разі наявності зациклювання, до неможливості побудови нечіткого логічного виведення взагалі.

2.1. Основні поняття метаграфа

У першому розділі були наведені означення метаграфа, які існують на сьогоднішній день в літературі та були зроблені висновки стосовно доречності їх використання для розв'язання задачі візуалізації метаграфів та використання метаграфів для подання баз нечітких знань. Нижче запропоновано означення метаграфа, з урахуванням проведеного в першому розділі аналізу, яке включає множину вершин, метавершин та ребер, дозволить спростити подальшу подачу матеріалу.

Означення 2.1. Метаграф – це трійка $S = \langle V, M, E \rangle$, де $V = \{v_r / r = \overline{1, N_V}\}$ – породжуюча множина (множина вершин метаграфа), $M = \{m_q / q = \overline{1, N_M}\}$ – множина метавершин, $E = \{e_h / h = \overline{1, N_E}\}$ – множина ребер, де N_V – кількість вершин метаграфа, N_M – кількість метавершин, N_E – загальна кількість ребер у метаграфі.

Метавершина метаграфа становить собою множину вершин $m_q = \{v_r / v_r \in V, r = \overline{1, N_{m_q}}\}$, де N_{m_q} – кількість вершин, які входять до

метавершини m_q . Якщо дві або більше метавершини відповідають одній і тій же множині вершин, то такі метавершини вважаються однаковими і розглядається тільки одна з таких метавершин.

Для спрощення подальшого подання матеріалу введемо поняття вузла метаграфа. Для цього множину вершин представимо у вигляді розбиття на одноелементні підмножини, кожна з яких містить одну вершину. Тоді вузол метаграфа можна представити як $mv \in \bigcup_r \{v_r\} \cup M$. Таким чином, вузол метаграфа – це метавершина або одноелементна множина, яка містить вершину. Ребро метаграфа в загальному випадку визначається як $e_h = \{mv_h^{out}, mv_h^{in}\}$. Якщо ребро орієнтоване, то буде використовуватися термін дуга та визначатися $e_h = (mv_h^{out}, mv_h^{in})$, де mv_h^{out} – вузол, з якого виходить дуга e_h , mv_h^{in} – вузол, в який входить дуга e_h . При подальшій подачі матеріалу якщо вказано, що дуга виходить/входить з/у вершину v_r , це означає, що дуга виходить/входить з/у вузол, який відповідає одноелементній множині, що містить дану вершину, тобто $mv_h^{out} = \{v_r\} / mv_h^{in} = \{v_r\}$.

Означення 2.2. Шлях в орієнтованому метаграфі S з вузла mv_p в вузол mv_q – це послідовність дуг $Path(mv_p, mv_q) = (e_1, e_2, \dots, e_n)$, така що $\forall i: mv_i^{in} \cap mv_{i+1}^{out} \neq \emptyset$.

Означення 2.3. Шлях $Path(mv_p, mv_q)$, в якому $mv_p \cap mv_q \neq \emptyset$ називається циклом.

Означення 2.4. Будемо називати метаграфом, який подає БНЗ, такий метаграф $S' = \langle V, M, E \rangle$, який задовольняє таким умовам:

- 1) кожна вершина $v_r = v(t_i^k)$ метаграфа S' відповідає терму ЛЗ t_i^k ;
- 2) кожна метавершина $m_g = \{v_r \mid r = \overline{1, n_g}\}$ метаграфа S' відповідає

P_g^A - лівій частині правила P_g . Метавершина m_g містить в собі вершини, які

взаємооднозначно відповідають термам, що входять до P_g^A ;

3) кожна дуга e_g метаграфа S' , відповідає правилу P_g БНЗ. Дуга $e_g = (m_g, \{v_r\})$ виходить з метавершини m_g , та входить до вершини $v_r = v(t_l^z)$, яка відповідає терму $t_l^z = P_g^C$.

Для прикладу наведемо графічне зображення частини метаграфа, яка відповідає правилу визначеному формулою (1.1) (рис. 2.1).

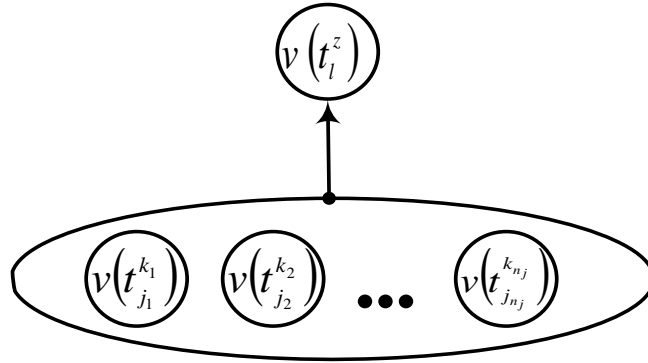


Рис. 2.1 Частина метаграфа, яка відповідає правилу $(P_l^z)_j$

Для правила, визначеного формулою (1.2), результатом відображення $F(P_l^z) = S'_z = (V_z, M_z, E_z)$ буде частина метаграфа S'_z , де

$$V_z = \left\{ v(t_{j_{11}}^{k_{11}}), v(t_{j_{12}}^{k_{12}}), \dots, v(t_{j_{1n_1}}^{k_{1n_1}}), v(t_{j_{21}}^{k_{21}}), \dots, v(t_{j_{2n_2}}^{k_{2n_2}}), v(t_{j_{b1}}^{k_{b1}}), v(t_{j_{b2}}^{k_{b2}}), \dots, v(t_{j_{bn_b}}^{k_{bn_b}}), v(t_l^z) \right\},$$

$$M_z = \{m_1, m_2, \dots, m_b\}, \quad \text{де} \quad m_s = \left\{ v(t_{j_{s1}}^{k_{s1}}), v(t_{j_{s2}}^{k_{s2}}), \dots, v(t_{j_{sn_s}}^{k_{sn_s}}) \right\}, \quad \text{та}$$

$$E_z = \left\{ (m_1, v(t_l^z)), (m_2, v(t_l^z)), \dots, (m_s, v(t_l^z)), \dots, (m_b, v(t_l^z)) \right\}.$$

Припустимо, що $b=3$, $n_1=n_2=n_3=3$ та у правилі P_l^z терми співпадають таким чином: $t_{j_{11}}^{k_{11}} = t_{j_{21}}^{k_{21}}$, $t_{j_{12}}^{k_{12}} = t_{j_{22}}^{k_{22}}$ та $t_{j_{13}}^{k_{13}} = t_{j_{33}}^{k_{33}}$, тоді графічне подання частини метаграфа, яка відповідає частині БНЗ, що визначає терм ЛЗ t_l^z та визначається співвідношенням (1.2) показано на рис. 2.2.

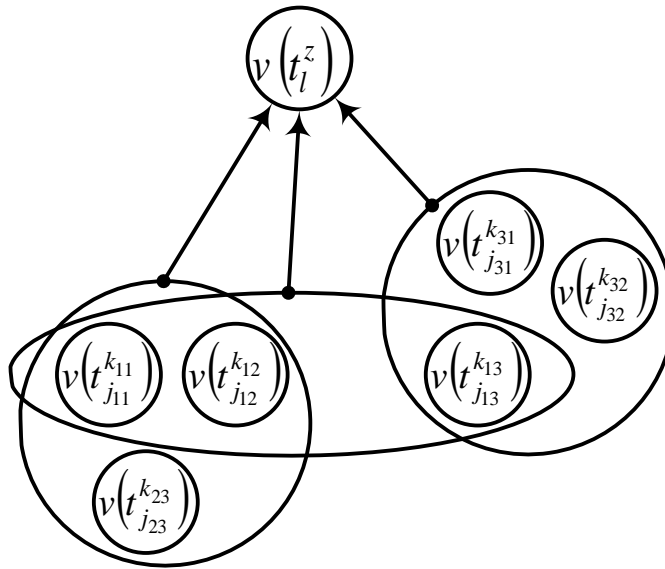


Рис. 2.2 Частина метаграфа, яка відповідає правилу P_l^z

Для спрощення подачі подальшого матеріалу введемо наступні позначення та поняття.

На множині вершин V задамо відношення $Q = \{(v_p, v_q) \mid (v_p, v_q \in V, v_p = v(t_i^k), v_q = v(t_i^a)) \wedge (t_i^k, t_i^a \in T_i)\}$, де $(t_i^k, t_i^a \in T_i)$ означає, що t_i^k, t_i^a є термами X_i . Легко бачити, що дане відношення Q є відношенням еквівалентності, так як воно є рефлексивним, симетричним і транзитивним. Введемо означення класу еквівалентності, який породжений $v_p = v(t_i^k)$, $[v_p]_Q = \{v_q \in V \mid v_p Q v_q\}$. Для спрощення запису такий клас еквівалентності надалі будемо позначати як V_i ($V_i = [v_p]_Q$), де i – номер лінгвістичної змінної X_i .

Означення 2.5. Клас еквівалентності V_i , породжений вершиною $v_p = v(t_i^k)$, це множина вершин метаграфа, які відповідають термам однієї лінгвістичної змінної X_i .

Фактор-множиною множини всіх вершин метаграфа V по відношенню еквівалентності Q буде множина $V/Q = \{V_i \mid i = \overline{1, N_X}\}$ всіх класів еквівалентності. Елементами фактор-множини будуть класи еквівалентності,

кожен з яких буде містити вершини, які відповідають термам тільки однієї лінгвістичної змінної. Фактор-множина є розбиттям множини вершин метаграфа $V = \bigcup_i V_i$ та $\forall i \neq j: V_i \cap V_j = \emptyset$. Потужність фактор-множини дорівнює кількості лінгвістичних змінних N_X в БНЗ.

Вершини, які відповідають термам результуючої ЛЗ будемо називати результуючими вершинами. Виходячи з введеного припущення, що в БНЗ буде всього одна результуюча ЛЗ, то всі результуючі вершини будуть міститися в одному класі еквівалентності, який будемо називати класом еквівалентності результуючих вершин V_{rez} . Вершини, які відповідають термам вхідних ЛЗ, будемо називати вхідними вершинами. На відміну від результуючих вершин, в метаграфі S' будуть існувати декілька класів еквівалентності вхідних вершин, які будемо позначати $V^{input} = \{V_i^{input} \mid i = \overline{1, N_X^{input}}\}$. Класи еквівалентності, які будуть відповідати проміжним ЛЗ будемо позначати $V_i^{intermediate}$.

2.2. Використання метаграфа

Нижче наведені етапи створення та використання метаграфа, як засобу роботи з БНЗ (рис. 2.3). Вони включають запропоновані та детально розглянуті у наступних підрозділах алгоритми створення метаграфа, впорядкування вузлів метаграфа, виділення частини метаграфа, необхідної для визначення шуканої лінгвістичної змінної, та нечіткого логічного виведення на основі метаграфа, який подає БНЗ [135, 136].

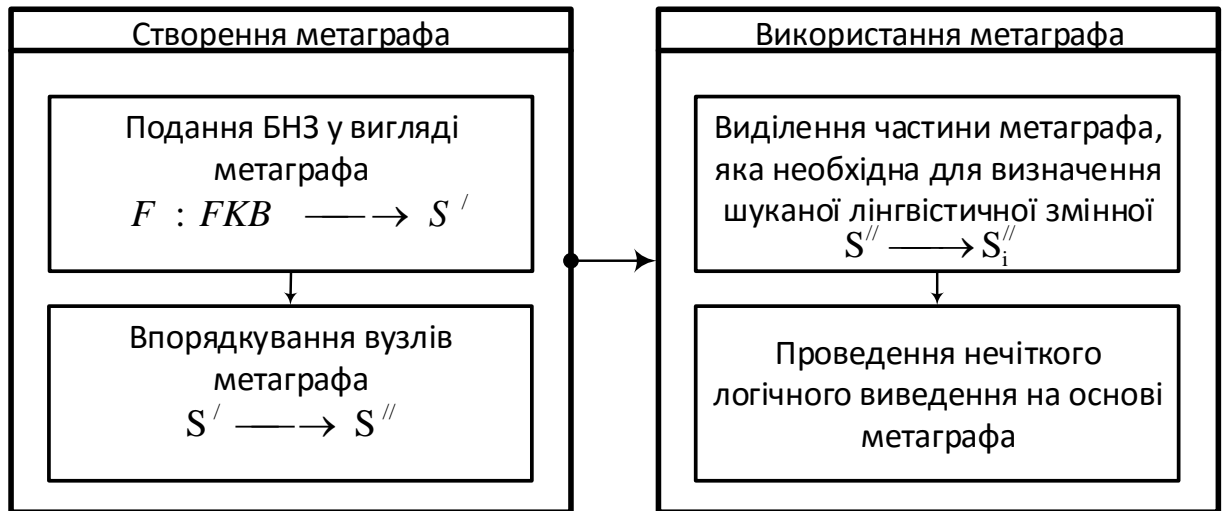


Рис. 2.3 Етапи створення та використання метаграфа, як засобу роботи з БНЗ

2.3. Створення метаграфа, який подає базу нечітких знань

Виходячи з вищенаведених визначень бази нечітких знань (означення 1.1) та метаграфа (означення 2.4) нижче запропоновано алгоритм створення метаграфа, який подає базу нечітких знань.

Сформулюємо постановку задачі створення метаграфа, який відповідає БНЗ.

Дано:

БНЗ = $\bigcup_{l,z,j} (P_l^z)_j$ – неупорядкована БНЗ.

Знайти:

Метаграф $S' = \langle V, M, E \rangle$, який подає неупорядковану БНЗ.

Для розв'язання поставленої задачі необхідно визначити відображення F , яке дозволяє представити терми у вигляді вершин, а правила у вигляді метавершин та дуг метаграфа. Створення метаграфа з неупорядкованої БНЗ буде полягати у застосуванні відображення F до кожного правила. При застосуванні відображення до S' додаються вершини, метавершини та дуги (рис. 2.4).

Означення 2.6. Відображення $F: БНЗ \longrightarrow S'$, де $БНЗ$ – це база

нечітких знань, S' – метаграф, який відповідає БНЗ, діє таким чином:

1. Кожен терм кожної ЛЗ відображається у вершину метаграфа $F(t_i^k) = v(t_i^k)$. Зазначимо, що вершина створюється лише в тому випадку, коли в метаграфі не існує вершини $v(t_i^k)$, яка відповідає терму t_i^k , в іншому випадку дублікат вершини не створюється.

2. Кожне правило відображається таким чином:

$$F(P_g) = S'_g = \langle V_g, M_g, E_g \rangle,$$

де S'_g – частина метаграфа, яка відповідає правилу P_g , що подається

формулою (1.1), де $V_g = \left\{ v(t_{j_1}^{k_1}), v(t_{j_2}^{k_2}), \dots, v(t_{j_{n_j}}^{k_{n_j}}), v(t_l^z) \right\}$, $M_g = \{m_g\}$, $E_g = \{e_g\}$, де

$$m_g = \left\{ v(t_{j_1}^{k_1}), v(t_{j_2}^{k_2}), \dots, v(t_{j_{n_j}}^{k_{n_j}}) \right\}, \quad e_g = (m_g, v(t_l^z)).$$

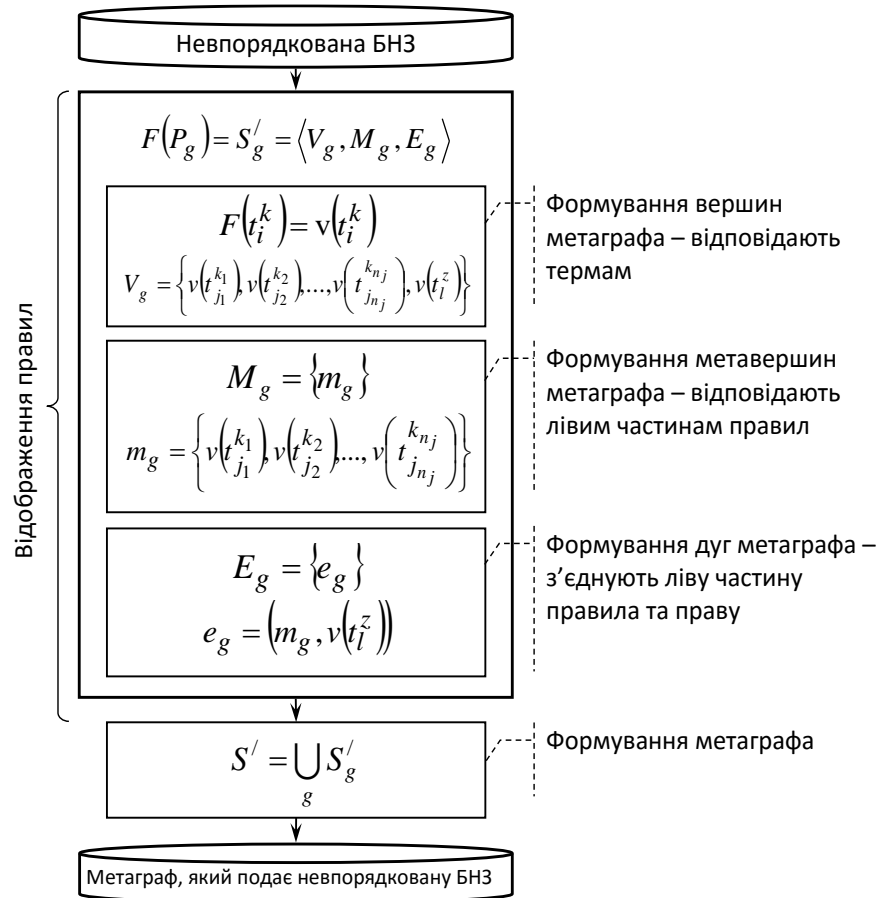


Рис. 2.4 Створення метаграфа, який відповідає БНЗ

В результаті застосування відображення F , отримуємо таке подання

БНЗ, де всі правила, для визначення одного терму ЛЗ будуть згруповані та зв'язані з цим термом, це позбавить від повного перебору правил при проведенні нечіткого логічного виведення. Також з'явиться можливість виявлення властивостей БНЗ, що описані нижче, ще до початку проведення логічного виведення. Особливістю запропонованого алгоритму є те, що отриманий в результаті такого відображення метаграф є ізоморфним до БНЗ, а отже є можливість однозначного відновлення БНЗ з метаграфа. Для надання такої можливості запропоновано пов'язати з вершиною додаткову інформацію про терм лінгвістичної змінної, якому ця вершина відповідає, та назву ЛЗ.

Впорядкування вузлів метаграфа

Сформулюємо задачу підготовки метаграфа для підвищення ефективності проведення нечіткого логічного виведення з використанням метаграфа. Підготовка буде полягати у нумерації вузлів метаграфа, яка буде задавати порядок обходу метаграфа, тобто порядок використання правил без повного їх перебору.

Дано:

Метаграф S' , який відповідає невпорядкованій БНЗ $= \bigcup_{z,l,j} (P_l^z)_j$.

Знайти:

Метаграф S'' , який відповідає БНЗ, з введеною на множині його вузлів нумерацією, яка відповідає порядку застосування правил при проведенні нечіткого логічного виведення.

Розв'язування даної задачі буде полягати у проведенні топологічного сортування метаграфа, в результаті якого буде введена нумерація вузлів. Це забезпечить виконання умови, що на момент використання правила всі його необхідні складові вже обчислені або відомі. Також перевагою попереднього введення такої нумерації буде запорука того, що в метаграфі відсутні цикли. Зазначимо, що при наявності циклів не можливо ввести правильну нумерацію.

Запропонований алгоритм впорядкування вузлів метаграфа, який подає

БНЗ, базується на принципах обходу графа в глибину. Так, як і в методі обходу графу в глибину використовується поняття кольору вершини. В залежності від стану вузла метаграфа він може бути білим, сірим та чорним. Білий - початковий колір всіх вузлів, стан, коли вузол не розглядався. Сірий колір вузла означає, що вузол вже обробляється, але ще не отримав свого номеру. Чорним вузол стає коли його оброблення закінчено та він отримав свій номер.

Запропонований алгоритм складається з таких кроків:

1. Знайти в метаграфі S' множину білих вершин, які не входять до жодної метавершини $V_0 = \{v_r \mid \forall q: v_r \notin m_q\}$.
2. Виконати процедуру $DFS(v_r)$ для кожної вершини з множини V_0 .

При запуску процедури $DFS(mv)$ вузол mv стає сірим, а по завершенню цієї процедури mv отримує номер та стає чорним.

Процедура $DFS(mv)$:

1. Якщо mv - вершина, то для кожної білої метавершини m , з якої виходить дуга, та входить до вершини mv виконати процедуру $DFS(m)$.
2. Якщо mv - метавершина, то для кожної білої вершини v , включеної до mv , виконати процедуру $DFS(v)$.
3. Зробити вузол mv чорним та пронумерувати його.

В результаті застосування запропонованого алгоритму отримуємо метаграф S'' , який відповідає БНЗ, з введеною на множині його вузлів нумерацією. Якщо в процесі застосування цього алгоритму процедура $DFS(v)$ буде застосована до вершини, яка в даний час є сірою, то це буде означати наявність циклу в метаграфі.

Послідовність дій для алгоритму топологічного сортування метаграфа, який відповідає БНЗ наведена на рис. 2.5, а приклад метаграфа з введеною нумерацією на рис. 2.6.

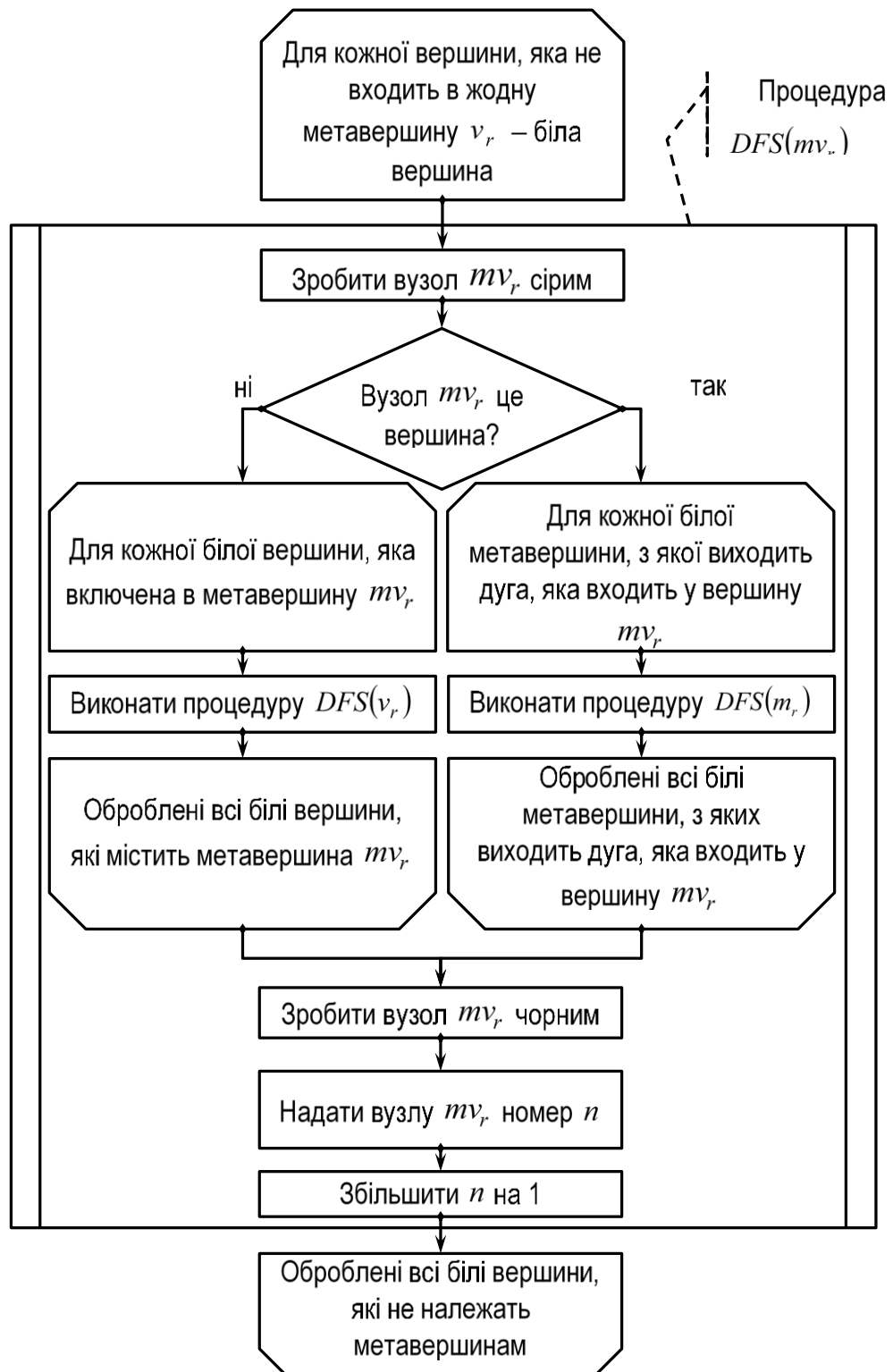


Рис. 2.5 Алгоритм впорядкування вузлів метаграфа

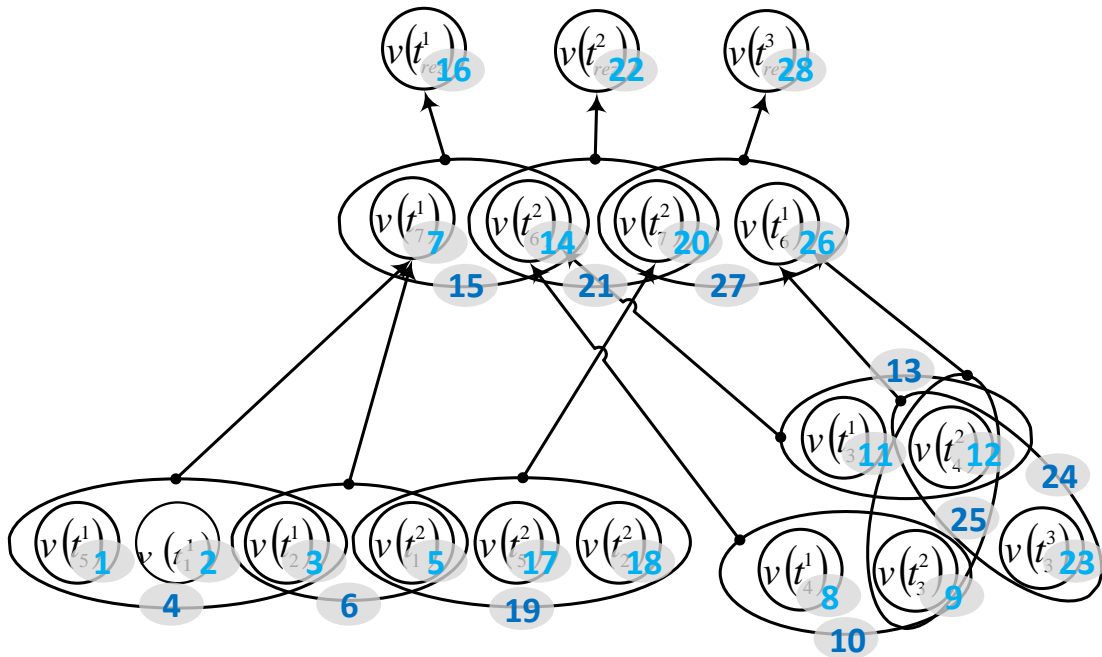


Рис. 2.6 Приклад впорядкування вузлів метаграфа, який подає БНЗ

Виділення частини метаграфа

Для визначення проміжної ЛЗ X_i , необхідно використовувати не всю БНЗ, а тільки частину, тобто тільки ті правила, які визначають задану ЛЗ. Використання лише необхідних правил дозволить суттєво скоротити час необхідний для виведення. Нижче сформульована постановка задачі виділення частини метаграфа, необхідної для визначення ЛЗ X_i .

Дано:

1. Метаграф $S^{//}$, який відповідає БНЗ, з введеною нумерацією вузлів.
2. ЛЗ X_i , яку слід знайти.

Знайти:

Метаграф $S_i^{//}$, який буде частиною метаграфа $S^{//}$ та буде містити відображення тільки тих правил, які використовуються при проведенні нечіткого логічного виведення для знаходження значення ЛЗ X_i .

Алгоритм розв'язання даної задачі містить такі етапи:

1. Створити допоміжну структуру даних – чергу L .
2. Знайти у графі $S_i^{//}$ всі вершини $V_0 = \{v(t_i^k) \mid k = \overline{1, N_i}\}$, які відповідають термам ЛЗ X_i .

3. Додати всі вершини з V_0 в кінець черги L .
4. Якщо черга L не пуста перехід на п.5, інакше перехід на п.9.
5. Взяти з початку черги L вершину $v(t_i^k)$.
6. Додати до метаграфа $S_i^{//}$ наступні елементи, якщо вони там не присутні:
 - вершину $v(t_i^k)$,
 - всі дуги, що входять у вершину $v(t_i^k)$,
 - метавершини, з яких ці дуги виходять.
7. Вершини, які включені у метавершини, що додані на кроці 6 до метаграфа, додати в кінець черги L , якщо вони там не присутні.
8. Перехід на п.4.
9. Метаграф $S_i^{//}$ сформовано.

Приклад метаграфа з виділеною його частиною продемонстровано на рис. 2.7.

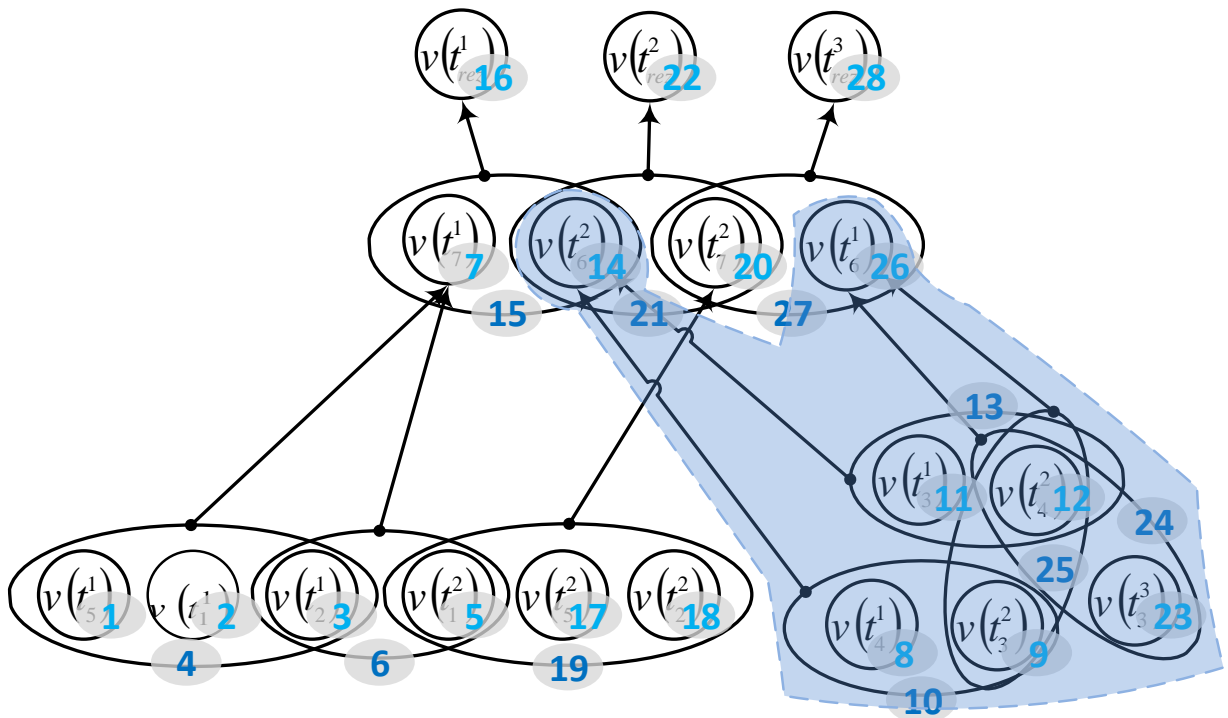


Рис. 2.7 Приклад виділення частини метаграфа для визначення ЛЗ X_6

2.4. Нечітке логічне виведення на основі метаграфа, який подає базу нечітких знань

Сформулюємо задачу проведення нечіткого логічного виведення використовуючи впорядкований метаграф, який подає частину БНЗ, для визначення ЛЗ X_i .

Дано:

1. X_i - ЛЗ, яку необхідно визначити.
2. Метаграф $S_i^{//}$.
3. Вектор вхідних даних $x = (x_w | w = \overline{1, N_x})$.

Знайти:

Значення ЛЗ X_i .

Модифікована структура підсистеми нечіткого логічного виведення відрізняється від розглянутої в першому розділі запропонованим алгоритмом роботи машини нечіткого логічного виведення, який базується на використанні метаграфа. На рис. 2.8 виділено блоки в яких зроблена модифікація.

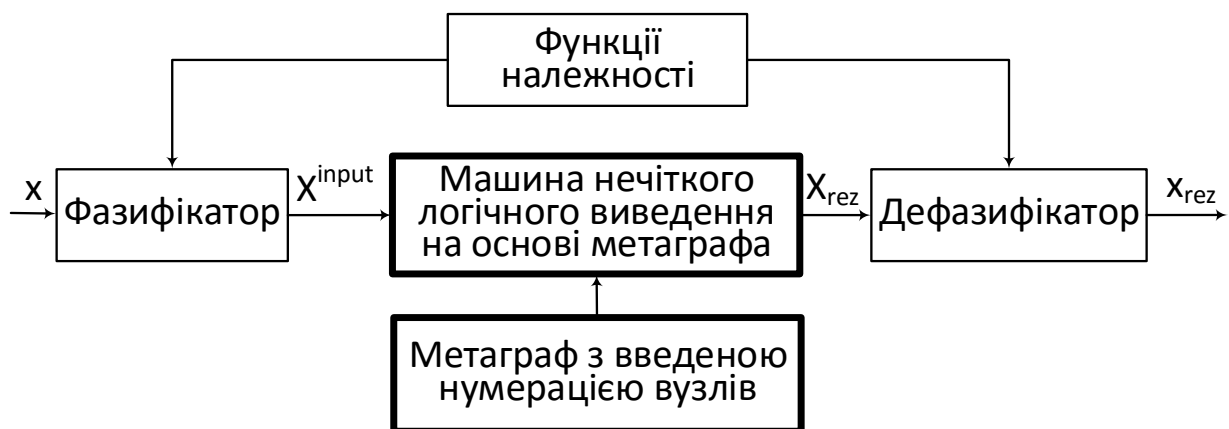


Рис. 2.8 Модифікована структурна схема підсистеми нечіткого логічного виведення

Алгоритм нечіткого логічного виведення для визначення ЛЗ X_i при використанні метаграфа $S_i^{//}$ з введеною нумерацією вузлів буде складатись з

таких пунктів:

1. Визначити лінгвістичні змінні $\{X_w \mid w = \overline{1, N_{vx}}\}$, термам яких відповідають вершини $v(t_i^k)$, які не мають дуг, що входять $\deg_{in}(v(t_i^k)) = 0$.
2. Отримати з вектору x необхідні вхідні данні для проведення нечіткого логічного виведення $(x_w \mid w = \overline{1, N_{vx}})$.
3. Провести фазифікацію, та записати отримані значення, як значення вершин $v(t_i^k)$.
4. Обходити вершини та метавершини в порядку збільшення їх номерів.
 - 4.1. Для кожної метавершини обчислити її значення, яке буде дорівнювати мінімуму серед значень вершин, які входять до даної метавершини.
 - 4.2. Для кожної вершини обчислити її значення, що буде дорівнювати максимуму зі значень метавершин, дуги з яких входять в задану вершину.
5. Якщо значення всіх вершин обчислено, провести дефазифікацію на основі значень вершин, які відповідають термам ЛЗ X_i , інакше перехід на п.4

Розрахуємо складність алгоритму нечіткого логічного виведення з використанням метаграфа, який подає БНЗ.

Твердження 2.1.

Алгоритм нечіткого логічного виведення на основі бази нечітких знань, поданої метаграфом, має складність $O(N_{V_0} + (N_V - N_{V_0}) \cdot (p - 1) + N_M \cdot (|M| - 1))$.

Або використовуючи позначення для БНЗ $O(N_X \cdot N_i \cdot (N_{P'} - 1) + N_P \cdot (N_P - 1))$.

Доведення

Для знаходження складності алгоритму нечіткого логічного виведення на основі бази нечітких знань, поданої метаграфом, будемо використовувати метаграф $S^{//}$.

Кількість операцій для обчислення значень вершин, які не мають дуг, що входять буде дорівнювати N_{V_0} , це операції визначення функцій належності.

Для обчислення значення кожної вершини v , яка має дуги, що входять, необхідно знайти максимум зі значень метавершин, з яких ці дуги виходять, тобто виконати $(\deg^+(v)-1)$ операцій. Кількість таких вершин буде $(N_V - N_{V_0})$, де N_V – загальна кількість вершин у метаграфі S'' . Позначимо максимальну кількість дуг, що входять до вершини через p . Тоді для обчислення значень всіх вершин, які мають дуги, що входять необхідно виконати $(N_V - N_{V_0}) \cdot (p - 1)$ операцій.

Для обчислення значення кожної метавершини необхідно знайти мінімум зі значень вершин, які до неї входять. Для цього виконується $(|M| - 1)$ операцій, де $|M|$ – це потужність метавершини, тобто кількість вершин, які до неї входять. Щоб обчислити значення всіх метавершин необхідно $N_M \cdot (|M| - 1)$ операцій, де N_M – загальна кількість метавершин у метаграфі.

Зазначимо, що відомий порядок обчислення значень вузлів, та цей порядок гарантує, що до моменту обчислення конкретного значення вузла, всі вузли від яких залежить цей вузол вже обчислені. Тобто для проведення нечіткого логічного виведення необхідно виконати кількість операцій, яка дорівнює кількості вузлів метаграфа помножену на кількість операцій, необхідну для обчислення значення кожного з цих вузлів. Виходячи з вищенаведених міркувань можемо записати формулу для оцінки обчислювальної складності алгоритму нечіткого логічного виведення на основі бази нечітких знань, поданої метаграфом.

$$O(N_{V_0} + (N_V - N_{V_0}) \cdot (p - 1) + N_M \cdot (|M| - 1)).$$

Так як $N_{V_0} < N_V$, та $p < N_{MV}$, та $|M| < N_{MV}$, то отримуємо спрощену формулу $O(N_{V_0} + (N_V - N_{V_0}) \cdot (p - 1) + N_M \cdot (|M| - 1)) = O(N_M + N_V) = O(N_{MV})$, де N_{MV} – кількість вузлів метаграфа.

2.5. Удосконалена нечітка логічна модель об'єкту

1. Мова:

1.1. Множина вхідних змінних $x = \{x_w \mid w = \overline{1, N_{X^{input}}}\}$.

1.2. Результируюча змінна x_{rez} .

1.3. Вершини $V = \{v_r \mid r = \overline{1, N_V}\}$, де $v_r = v(t_i^k)$ та має функцію належності (ФН) $\mu_v(t_i^k)$.

1.4. Класи еквівалентності $\{V_i \mid i = \overline{1, N_X}\}$, $V_i \in \{V_i^{input}, V_i^{intermediate}, V_{rez}\}$.

2. Аксиоми: метаграф $S' = \langle V, M, E \rangle$, який подає БНЗ, з введеною нумерацією вузлів.

3. Схема виведення:

3.1. Фазифікація – на основі ФН проводиться визначення ступенів належності вхідних змінних x нечітким множинам, які записуються, як значення вершин кожного $V_w^{input} : Fuz : x_w \xrightarrow{\text{фазифікація}} V_w^{input}$, де $w = \overline{1, N_{X^{input}}}$.

3.2. Нечітке логічне виведення Мамдані на основі метаграфа полягає у знаходженні значення $V_{rez} :$

Inference: $V^{input} \xrightarrow{\text{нечітке виведення на основі метаграфа}} V_{rez}$. Порядок обчислення значень вузлів визначений нумерацією вузлів метаграфа, значення вершин кожного V_l , $l = \overline{1, N_X}$ для кожного $z = \overline{1, N_l}$ обчислюється за виразом:

$$\mu_{v(t_i^z)} = \bigvee_{p=1}^b \left(\bigwedge_{q=1}^{n_j} \mu_{v(t_{j_{pq}}^k)} \right) = \bigvee_{E_{l_z}} \left(\bigwedge_{m_p} \mu_{v_r} \right), \quad \text{де} \quad E_{l_z} = \{e_{zp} = (m_p, \{v_{l_z}\}) \mid p = \overline{1, b}\},$$

$$m_p = \{v_q \mid q = \overline{1, n_j}\}.$$

3.3. Дефазифікація – на основі ФН проводиться перетворення V_{rez} у кількісне значення результируючої змінної $x_{rez} : DeFuz : V_{rez} \xrightarrow{\text{дефазифікація}} x_{rez}$.

2.6. Статична верифікація бази нечітких знань

Проведений в першому розділі аналіз показав, що важливим етапом

використання БНЗ є визначення властивостей, які їй притаманні. Розглянемо детально властивості БНЗ та метаграфа, що подає БНЗ з відповідними властивостями [137].

По-перше, визначимо особливості, які відрізняють звичайний метаграф від метаграфа, який подає БНЗ. На відміну від звичайного метаграфа, структура метаграфа S' має особливості зазначені нижче. Якщо метаграф не відповідає хоча б одному із пунктів, то він не відповідає БНЗ [135].

Виходячи з описаного вище, для метаграфа S' , який подає БНЗ, будуть справедливі такі властивості:

1) метаграф S' не може містити:

- а) дуг, які виходять з вершини $\forall mv_h = \{v_r\}: \deg^-(mv_h) = 0$, тобто напівступінь виходу вершини завжди рівний нулю;
- б) дуг, які входять в метавершину $\forall mv_h = m_g: \deg^+(mv_h) = 0$, тобто напівступінь входу метавершини завжди рівна нулю;
- в) метавершин з напівступенем виходу рівним нулю $\forall mv_h = m_g: \deg^-(mv_h) > 0$, тобто для довільної метавершини існує хоча б одна дуга, яка з'єднує її з якоюсь вершиною $\forall m_g \in M: \exists e_h = (m_g, \{v_r\})$;

2) метаграф S' обов'язково містить вершини, які не включені до жодної метавершини (це всі результуючі вершини) $\exists V_{rez} = \{v_r / \forall g: v_r \notin m_g\}$.

На рис. 2.9 продемонстровано графічне подання метаграфа, який не відповідає БНЗ.

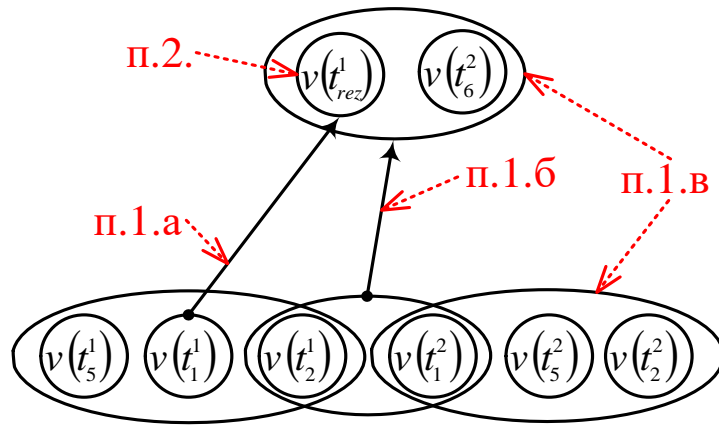


Рис. 2.9 Приклад метаграфа S' , який не відповідає БНЗ

Оскільки при поданні БНЗ у вигляді метаграфа в ньому відображені всі терми лінгвістичних змінних і всі правила, які присутні в БНЗ, то метаграф S' має такі властивості:

- 1) кількість класів еквівалентності вершин дорівнює кількості лінгвістичних змінних в БНЗ $N_{V_i} = N_X$;
- 2) кількість вершин в метаграфі дорівнює сумі кількостей термів всіх ЛЗ, які входять до БНЗ $N_V = \sum_{i=1}^{N_X} N_i$;
- 3) кількість дуг в метаграфі дорівнює кількості правил $N_E = N_P$;
- 4) кількість метавершин в метаграфі не більше, ніж кількість правил $N_M \leq N_P$.

Надлишковість бази нечітких знань

Введемо означення ненадлишкової БНЗ, якого будемо дотримуватися надалі.

Означення 2.7. Базу нечітких знань будемо називати ненадлишковою, якщо виконуються такі умови:

- 1) відсутні дублікати правил, тобто у БНЗ не існує правил з однаковими умовами і однаковими результатами

$$\neg \exists P_i, P_j : (P_i^A = P_j^A) \wedge (P_i^C = P_j^C) \wedge (i \neq j);$$

- 2) відсутнє включення умов, тобто у БНЗ не існує правил з однаковими результатами, таких, що ліва частина деякого правила є підмножиною термів лівої частини іншого правила

$$\neg \exists P_i, P_j : (P_i^C = P_j^C) \wedge (P_i^A \subset P_j^A);$$

- 3) відсутні терми не результуючої ЛЗ, що не використовуються, тобто у БНЗ для довільного терму кожної не результуючої ЛЗ існує хоча б одне правило, в ліву частину якого він входить

$$\forall t_i^k \in T_i : (X_i \neq X_{rez}) \Rightarrow (\exists P_q : (t_i^k \in P_q^A));$$

- 4) відсутні, правила що не виконуються, тобто:

- а) для жодного терму довільної вхідної ЛЗ не існує правила, в якому даний терм є результатом

$$\forall t_i^k \in T_i : (X_i \in X^{input}) \Rightarrow (\neg \exists P_q : t_i^k = P_q^C);$$

- б) для кожного терму довільної не вхідної ЛЗ має існувати хоча б одне правило, в якому даний терм є результатом

$$\forall t_i^k \in T_i : (X_i \notin X^{input}) \Rightarrow (\exists P_q : t_i^k = P_q^C).$$

За допомогою аналізу структури метаграфа можна перевірити чи є БНЗ ненадлишковою у визначеному вище сенсі.

Опишемо обмеження метаграфа для визначення надлишковості БНЗ.

Твердження 2.2.

БНЗ є ненадлишковою, тоді і тільки тоді, коли метаграф, яким вона подана, задовольняє таким умовам:

- 1) відсутні кратні дуги

$$\neg \exists e_a, e_b : (e_a = (m_g, \{v_p\})) \wedge (e_b = (m_g, \{v_p\})) \wedge (a \neq b);$$

- 2) відсутні метавершини, що містять підмножину вершин, яка, в свою чергу, відповідає іншій метавершині, і ці дві метавершини з'єднані дугами з однією і тією ж вершиною

$$\neg \exists m_g, m_q : (e_a = (m_g, \{v_r\})) \wedge (e_b = (m_q, \{v_r\})) \wedge (m_q \subset m_g);$$

- 3) кожна вершина, яка не належить до класу еквівалентності результуючої

вершини, має належати метавершині

$$\forall v_p : (v_p \notin V_{rez}) \Rightarrow \exists m_g : (v_p \in m_g);$$

- 4) у класі еквівалентності вершин або всі вершини не мають дуг, що входять, або всі мають хоча б одну дугу, що входить

$$\forall mv_p = \{v_p\}, v_p \in V_i : \begin{cases} \deg^+(mv_p) = 0 \Rightarrow \neg \exists mv_q = \{v_q\}, v_q \in V_i : \deg^+(mv_q) > 0 \\ \deg^+(mv_p) > 0 \Rightarrow \neg \exists mv_q = \{v_q\}, v_q \in V_i : \deg^+(mv_q) = 0 \end{cases}$$

На рис. 2.10 продемонстровано графічне подання метаграфа, який відповідає БНЗ, яка є надлишковою.

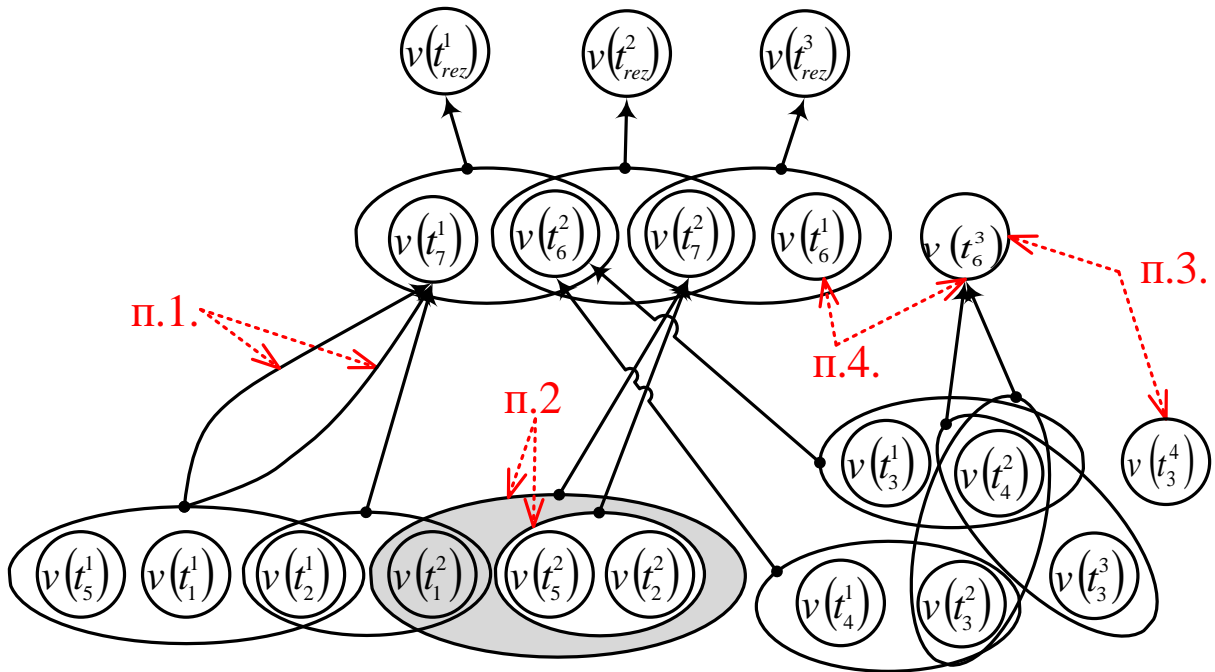


Рис. 2.10 Приклад метаграфа S' , який відповідає надлишковій БНЗ

Доведення

Доведення твердження проведемо від супротивного і по кожному пункту.

Покажемо, що якщо БНЗ є ненадлишковою, то метаграф, який їй відповідає задовольняє умовам цього твердження.

1. Припустимо, що у метаграфі S' присутні кратні дуги. В силу взаємно-однозначності відображення БНЗ в метаграф в ній мають існувати два правила, в яких ліві частини однакові і праві частини однакові, тобто

правила ідентичні, це суперечить п.1 означення ненадлишкової БНЗ.

2. Припустимо, що існує метавершина, деяка підмножина вершин якої відповідає іншій метавершині, та ці метавершини з'єднані дугами з однією і тією ж вершиною. Враховуючи взаємно-однозначність відображення БНЗ в метаграф отримуємо, що в БНЗ будуть існувати правила з однаковими результатами і ліва частина одного правила буде підмножиною термів лівої частини іншого правила. Це означає, що в БНЗ присутнє включення умов при однакових результатах, що, в свою чергу, суперечить п.2 означення ненадлишкової БНЗ.
3. Припустимо, що в метаграфі S' існує вершина, яка не належить до класу еквівалентності результуючої вершини, і вона не належить метавершині. Враховуючи взаємно-однозначність відображення БНЗ в метаграф, отримуємо, що існує терм ЛЗ, яка не є результуючою, що не задіяний у лівій частині жодного з правил. Це означає, що в БНЗ присутні терми не результуючої ЛЗ, що не використовуються, що, в свою чергу, суперечить п.3 означення ненадлишкової БНЗ.
4. Припустимо, що в метаграфі S' існують дві еквівалентні вершини, одна з яких має дуги, що входять, а інша ні. Розглянемо два випадки. У першому випадку припустимо, що розглянуті вершини є вхідними. Тоді враховуючи взаємно-однозначність відображення БНЗ в метаграф, отримуємо, що існує терм вхідної ЛЗ для якого існують правила, які його визначають. Це суперечить п.4.а означення ненадлишкової БНЗ. У другому випадку припустимо, що вершини, які розглядаються не є вхідними. Тоді враховуючи взаємно-однозначність відображення БНЗ в метаграф, отримуємо, що існує терм ЛЗ, яка не є вхідною, і для цього терму не існує жодного правила, яке його визначає. Це суперечить п.4.б означення ненадлишкової БНЗ.

Проведемо доведення у зворотний бік. Покажемо, що якщо метаграф S' , який відповідає БНЗ, задовольняє умовам цього твердження, то

БНЗ є ненадлишковою.

1. Припустимо, що в БНЗ існують однакові правила. В силу взаємно-однозначності відображення БНЗ в метаграф в метаграфі мають існувати кратні дуги, що суперечить п.1 цього твердження.
2. Припустимо, що в БНЗ присутні два правила з однаковими результатами і ліва частина одного з них повністю включена в ліву частину іншого. Враховуючи взаємно-однозначність відображення БНЗ в метаграф отримуємо, що в метаграфі S' присутні метавершини, з'єднані дугами з однією і тією-ж вершиною, та множина вершин, включених в одну з них, відповідає підмножині вершин з іншої метавершини. Це суперечить п.2 цього твердження.
3. Припустимо, що в БНЗ присутня не результуюча ЛЗ, терм якої не входить в ліву частину жодного з правил. Враховуючи взаємно-однозначність відображення БНЗ в метаграф отримуємо, що в метаграфі S' присутня вершина, яка не належить до класу еквівалентності результуючої вершини, і вона не належить метавершині. Це суперечить п.3 цього твердження.
4. Розглянемо два випадки. У першому випадку припустимо, що в БНЗ присутня вхідна ЛЗ, і для деяких з її термів присутні правила, які їх визначають. Враховуючи взаємно-однозначність відображення БНЗ в метаграф отримуємо, що в метаграфі S' присутні еквівалентні вершини, частина з яких мають дуги, що входять, а частина не має. Це суперечить п.4 цього твердження. У другому випадку припустимо, що в БНЗ присутня ЛЗ, яка не є вхідною, і для деяких з її термів не існує правил, які їх визначають. Враховуючи взаємно-однозначність відображення БНЗ в метаграф отримуємо, що в метаграфі присутні еквівалентні вершини, частина з яких мають дуги, що входять, а частина не має. Це суперечить п.4 цього твердження.

Твердження доведено.

Несуперечливість бази нечітких знань

Введемо поняття лінгвістичної несуперечливості, тобто такої, яку можна визначити, ґрунтуючись тільки на інформації про структуру правил і не вдаючись до проведення нечіткого логічного виведення.

Означення 2.8. БНЗ називається лінгвістично несуперечливою, якщо виконуються такі умови:

- 1) у БНЗ не існує правил з однаковими умовами, в яких в правій частині є різні терми однієї і тієї ж ЛЗ

$$\neg \exists P_i, P_j : (P_i^A = P_j^A) \wedge (P_i^C \neq P_j^C) \wedge (p = q), \text{ де } P_i^C = t_p^a, P_j^C = t_q^b;$$

- 2) у БНЗ не існує правил, в яких в лівій частині присутні два і більше термів однієї ЛЗ

$$\neg \exists P_g : \left(t_{j_p}^{k_p} \in P_g^A \right) \wedge \left(t_{j_q}^{k_q} \in P_g^A \right) \wedge (j_p = j_q).$$

Твердження 2.3.

БНЗ є лінгвістично несуперечливою тоді і тільки тоді, коли метаграф S' , яким вона подана, задовольняє таким умовам:

- 1) кожна метавершина з'єднана не більше ніж з однією вершиною з одного класу еквівалентності вершин

$$\forall m_g : (e_a = (m_g, \{v_p\})) \wedge (e_b = (m_g, \{v_q\})) \wedge (v_p \in V_i) \wedge (v_q \in V_j) \Rightarrow (i \neq j);$$

- 2) жодна з метавершин не включає дві і більше еквівалентні вершини

$$\neg \exists m_g : (v_p \in m_g) \wedge (v_q \in m_g) \wedge (v_p \in V_i) \wedge (v_q \in V_j) \wedge (i = j).$$

На рис. 2.11 продемонстровано графічне подання метаграфа, який відповідає лінгвістично суперечливій БНЗ.

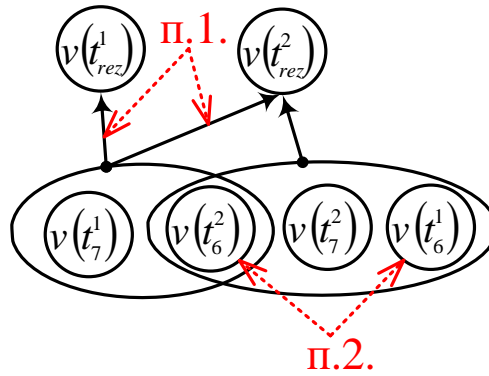


Рис. 2.11 Приклад метаграфа S' , який відповідає лінгвістично суперечливій БНЗ

Доведення

Покажемо, що якщо БНЗ є лінгвістично несуперечливою, то метаграф, який їй відповідає, задовольняє умовам цього твердження. Доведення будемо проводити від супротивного.

1. Припустимо, що в метаграфі S' присутні дві дуги, які виходять з метавершини і входять в вершини з одного класу еквівалентності. Враховуючи взаємно-однозначність відображення БНЗ в метаграф отримуємо, що в БНЗ існують два правила з однаковими умовами та результатами, що суперечать один одному бо є термами однієї ЛЗ, це суперечить п.1 умов лінгвістичної несуперечливості БНЗ.
2. Припустимо, що метавершина містить дві вершини з одного класу еквівалентності. Враховуючи взаємно-однозначність відображення БНЗ в метаграф отримуємо, що в БНЗ існує правило, в лівій частині якого міститься ЛЗ, яка одночасно приймає два різних значення, що суперечить п. 2 означення лінгвістичної несуперечливості БНЗ.

Проведемо доведення у зворотний бік.

Покажемо, що якщо метаграф S' , який відповідає БНЗ, задовольняє умовам цього твердження, то БНЗ є лінгвістично несуперечливою.

Доведення будемо проводити від супротивного. Нехай виконуються всі пункти цього твердження для метаграфа.

1. Припустимо, що в БНЗ існують правила з однаковою лівою частиною, в яких результатом є різні терми однієї і тієї ж ЛЗ. Враховуючи взаємно-однозначність відображення БНЗ в метаграф отримуємо, що в метаграфі буде існувати метавершина, з якої виходять дуги, що входять до вершин з одного класу еквівалентності. Це суперечить п. 1 цього твердження.
2. Припустимо, що в БНЗ існує правило, в якому в лівій частині присутній два терми однієї ЛЗ. Враховуючи взаємно-однозначність відображення БНЗ в метаграф отримуємо, що в метаграфі буде існувати метавершина, яка включає дві вершини з одного класу еквівалентності. Це суперечить п. 2 цього твердження.

Твердження доведено.

Зациклювання у базі нечітких знань

Означення 2.9. У базі нечітких знань відсутнє зациклювання, якщо виконуються такі умови:

- 1) прямий цикл – у БНЗ не існує ЛЗ, які залежать від самих себе;
 - а) окремий випадок: у БНЗ не існує правил, в яких в лівій і в правій частині присутні терми однієї ЛЗ

$$\neg \exists P_g : \left(t_{j_p}^{k_p} \in P_g^A \right) \wedge \left(t_l^z = P_g^C \right) \wedge \left(j_p = l \right);$$

- 2) непрямий цикл – у БНЗ не існує правил, при яких лінгвістичні змінні визначають лінгвістичні змінні, від яких вони залежать.

Твердження 2.4.

В БНЗ відсутнє зациклювання тоді і тільки тоді, коли метаграф S' , яким вона подана, задовольняє таким умовам:

- 1) в метаграфі S' не існує шляху, в якому присутні вершини з класу еквівалентності вершин, до якого належить кінцева вершина цього шляху

$$\neg \exists p = Path(mv_{start}, v_{end}) : (v_p \in p) \wedge (v_p \in V_i) \wedge (v_{end} \in V_j) \wedge (i = j);$$

а) окремий випадок: метавершина, з якої виходить дуга, не може містити вершин еквівалентних вершині, в яку ця дуга входить

$$\neg \exists m_g : (e_h = (m_g, \{v_p\})) \wedge (v_p \in V_i) \wedge (v_q \in m_g) \wedge (v_q \in V_j) \wedge (i = j);$$

2) метаграф S' не містить циклів.

На рис. 2.12 продемонстровано графічне подання метаграфа, який відповідає БНЗ, де присутнє зациклювання.

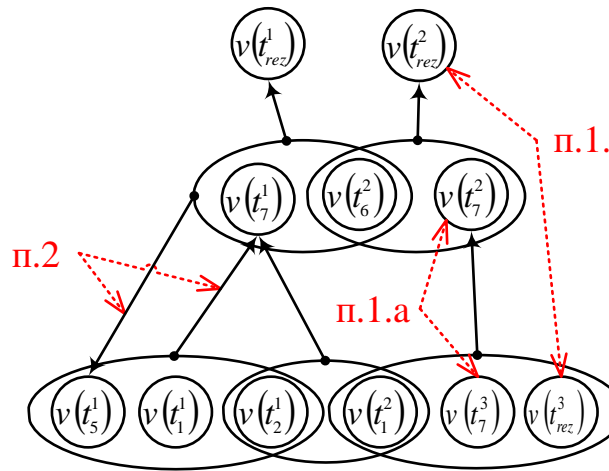


Рис. 2.12 Приклад метаграфа S' , який відповідає БНЗ, де присутнє зациклювання

Доведення

Покажемо, що якщо в БНЗ відсутнє зациклювання, то метаграф, який їй відповідає, задовольняє умовам цього твердження. Доведення будемо проводити від супротивного.

1. Припустимо, що в метаграфі S' існує шлях, в якому присутні вершини з класу еквівалентності вершин, до якого належить кінцева вершина цього шляху. Враховуючи взаємно-однозначність відображення БНЗ в метаграф отримуємо, що в БНЗ присутні правила, які визначають ЛЗ через свої ж терми. Це означає, що в БНЗ присутній прямий цикл, і це суперечить п. 1 означення БНЗ, в якій відсутнє зациклювання.

а. Припустимо, що в метаграфі S' існує метавершина, яка містить

вершину еквівалентну вершині, в яку входить дуга, що виходить з даної метавершини. Враховуючи взаємно-однозначність відображення БНЗ в метаграф отримуємо, що в БНЗ присутнє правило, яке визначає ЛЗ через свої ж терми. Це означає, що в БНЗ присутній прямий цикл, і це суперечить п. 1.а означення БНЗ, в якій відсутнє зациклювання.

2. Припустимо метаграф S' , який відповідає БНЗ має цикл. Існування циклу в метаграфі свідчить про існування шляху з вузла mv_p в вузол mv_q , в якому $mv_p \cap mv_q \neq \emptyset$. Для метаграфа, який подає БНЗ, це означає, що існує шлях, який починається у вузлі $mv_p = m_p$ та закінчується у вузлі $mv_q = \{v_q\}$, при цьому $v_q \in m_p$. Отже, значення вершини v_q можна визначити тільки після того, як визначено значення метавершини m_p , що неможливо без знання значення вершини v_q . Враховуючи взаємно-однозначність відображення БНЗ в метаграф отримуємо, що в БНЗ є така послідовність правил, в якій лінгвістичні змінні визначають лінгвістичні змінні, від яких вони залежать. Це означає, що в БНЗ присутній непрямий цикл, це суперечить п.2 означення БНЗ, в якій відсутнє зациклювання.

Проведемо доведення у зворотний бік.

Покажемо, що якщо метаграф S' , який відповідає БНЗ, задовольняє умовам цього твердження, то в БНЗ відсутнє зациклювання.

Доведення будемо проводити від супротивного. Нехай виконуються всі пункти цього твердження для метаграфа.

1. Припустимо, що в БНЗ існує ЛЗ X_i , яка залежить від самої себе. Це означає, що в БНЗ існує правило для визначення деякого терму ЛЗ X_i , використовуються ЛЗ, для визначення, яких необхідно

використовувати значення ЛЗ X_i . Враховуючи взаємно-однозначність відображення БНЗ в метаграф отримуємо, що в метаграфі буде існувати шлях в якому присутні вершини з класу еквівалентності вершин, до якого належить кінцева вершина цього шляху. Це суперечить п. 1 цього твердження.

а. Припустимо, що в БНЗ існує правило, в якому в лівій і в правій частині присутні терми однієї ЛЗ. Враховуючи взаємно-однозначність відображення БНЗ в метаграф отримуємо, що в метаграфі буде існувати метавершина, яка містить вершину еквівалентну вершині, яка з'єднана дугою з даною метавершиною. Це суперечить п. 1.а цього твердження.

2. Припустимо, що в БНЗ існують правила, при яких лінгвістичні змінні визначають лінгвістичні змінні, від яких вони залежать. Враховуючи взаємно-однозначність відображення БНЗ в метаграф отримуємо, що в метаграфі будуть існувати цикли. Це суперечить п. 2 цього твердження.

Твердження доведено.

Повнота бази нечітких знань

Нижче наведено означення лінгвістичної повноти часткової БНЗ, яке розширено припущенням про те, що кожному терму ЛЗ верхнього рівня відповідає хоча б одне правило. Також варто відзначити, що всі лінгвістичні змінні нижнього рівня різні.

Означення 2.10. Часткова БНЗ є лінгвістично повною, якщо її правила задані на всьому декартовому добутку терм-множин лінгвістичних змінних нижнього рівня і для кожного терму ЛЗ верхнього рівня існує хоча б одне правило.

З цього означення випливає, що якщо представити БНЗ, як відображення, яке переводить елементи з декартового добутку терм-множин ЛЗ нижнього рівня в терм ЛЗ верхнього рівня, то таке відображення буде

сюр'єктивним. Зауважимо, що таке відображення не буде ін'єкційним і не буде функціональним.

Нижче наведено означення лінгвістичної повноти для ієрархічної БНЗ.

Означення 2.11. База нечітких знань називається лінгвістично повною, якщо всі її часткові БНЗ є лінгвістично повними, і всі вони задіяні для визначення значення результуючої ЛЗ.

Використовуючи дані про структуру метаграфа, який подає БНЗ, можна перевірити чи є БНЗ лінгвістично повною. Опишемо обмеження метаграфа для визначення лінгвістичної повноти БНЗ.

Твердження 2.5.

БНЗ є лінгвістично повною тоді і тільки тоді, коли метаграф, який їй відповідає, задовольняє таким умовам:

- 1) при наявності метавершини, з'єднаної дугою з вершиною з класу еквівалентності V_i , до якої входить вершина з класу еквівалентності V_j , в усі інші метавершини, з'єднані дугами з вершинами з класу еквівалентності V_i , має входити вершина з класу еквівалентності V_j

$$\forall m_a, m_b, a \neq b : (e_h = (m_a, \{v_p\})) \wedge (v_p \in V_i) \wedge (e_r = (m_b, \{v_q\})) \wedge (v_q \in V_i) \wedge (v_s \in m_a) \wedge (v_s \in V_j) \Rightarrow \exists v_d : (v_d \in m_b) \wedge (v_d \in V_j) ;$$

- 2) при наявності метавершини, з'єднаної дугою з вершиною з класу еквівалентності V_i , та за умови, що кожна з включених до неї вершин належить класам еквівалентності $\{V_{j1}, V_{j2}, \dots, V_{jn}\}$ відповідно, в метаграфі мають існувати метавершини, які включають в себе всі можливі набори вершин з класів еквівалентності $\{V_{j1}, V_{j2}, \dots, V_{jn}\}$, і ці метавершини мають бути з'єднані дугами з вершинами з класу еквівалентності V_i ;

- 3) жодна метавершина не включає дві і більше еквівалентні вершини

$$\neg \exists m_g : (v_p \in m_g) \wedge (v_q \in m_g) \wedge (v_p \in V_i) \wedge (v_q \in V_j) \wedge (i = j) \wedge (p \neq q) ;$$

- 4) кожна вершина, яка не належить до класу еквівалентності

результуючої вершини, має належати метавершині

$$\forall v_p : (v_p \notin V_{rez}) \Rightarrow \exists m_g : (v_p \in m_g);$$

- 5) кожна вершина, яка не є вхідною, має хоча б одну дугу, що входить, тобто її напівступінь входу більше нуля

$$\forall i, p : (v_p \notin V_i^{input}) \Rightarrow \deg^+(mv_p) > 0, \text{ де } mv_p = \{v_p\}.$$

На (рис. 2.13) продемонстровано графічне подання метаграфа, який відповідає БНЗ, яка не є лінгвістично повною.

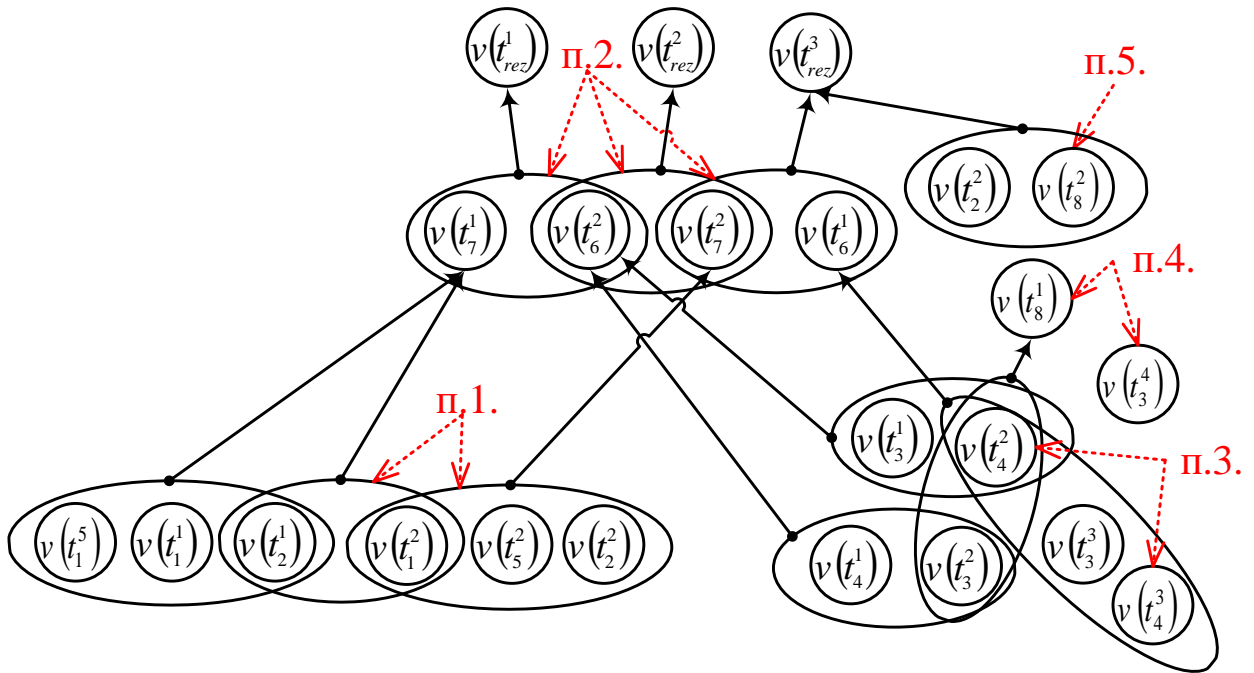


Рис. 2.13 Приклад метаграфа S' , який відповідає БНЗ, що не є лінгвістично повною

Доведення

Покажемо, що якщо БНЗ є лінгвістично повною, то метаграф, який їй відповідає, задовольняє умовам цього твердження.

Доведення твердження проведемо від супротивного.

1. Припустимо, що в метаграфі S' існує метавершина m_a , яка з'єднана дугою з вершиною з класу еквівалентності V_i , в яку входить вершина з класу еквівалентності V_j , а також існує метавершина m_b , яка

з'єднана дугою з вершиною з класу еквівалентності V_i , в яку не входить вершина з класу еквівалентності V_j . Враховуючи взаємно-однозначність відображення БНЗ в метаграф відзначимо, що множина метавершин, які з'єднані дугами з вершинами з одного класу еквівалентності, разом з цими вершинами і дугами подають із себе відображення часткової БНЗ. Відновивши з розглянутих вище метавершин два правила отримуємо, що ліві частини цих правил визначені на різних декартових добутках терм-множин ЛЗ. Це означає, що часткова БНЗ, в яку входять правила, подані даними метавершинами, не є лінгвістично повною.

2. а) Припустимо, що у метаграфі S' існує метавершина, яка містить вершини, кожна з яких належить класам еквівалентності $\{V_{j1}, V_{j2}, \dots, V_{jn}\}$ і ця метавершина з'єднана дугою з вершиною з класу еквівалентності V_i . Також припустимо, що не існує метавершини, яка відповідає множині вершин $\{v_{r1}, v_{r2}, \dots, v_{rn}\}$, де $v_{rs} \in V_{js}, k = \overline{1, n}$, і з'єднана з вершиною з класу еквівалентності V_i . Враховуючи взаємно-однозначність відображення БНЗ в метаграф отримуємо, що не для всього декартового добутку терм-множин лінгвістичних змінних нижнього рівня часткової БНЗ визначені правила, подані даними метавершинами. Це означає, що ця часткова БНЗ не є лінгвістично повною.

б) Припустимо, що у метаграфі S' існує метавершина, яка містить вершини, кожна з яких належить класам еквівалентності $\{V_{j1}, V_{j2}, \dots, V_{jn}\}$ і ця метавершина з'єднана дугою з вершиною з класу еквівалентності V_i . Також припустимо, що існує метавершина, яка відповідає множині вершин $\{v_{r1}, v_{r2}, \dots, v_{rn}\}$, де $v_{rs} \in V_{js}, k = \overline{1, n}$, яка з'єднана дугою хоча б з однією вершиною з класу еквівалентності V_i . Враховуючи взаємно-однозначність відображення БНЗ в метаграф

отримуємо, що не для всього декартового добутку терм-множин лінгвістичних змінних нижнього рівня часткової БНЗ визначені правила, в правій частині яких знаходиться лінгвістична змінна X_i . Це означає, що ця часткова БНЗ не є лінгвістично повною.

3. Припустимо, що існує метавершина, яка містить декілька вершин з одного класу еквівалентності. Враховуючи взаємно-однозначність відображення БНЗ в метаграф отримуємо, що така метавершина відповідає правилу, яке визначено на декартовому добутку терм-множин ЛЗ, в якому терм-множина однієї з ЛЗ зустрічається більше одного разу. Це означає, що часткова БНЗ, в яку входять правила, подані даними метавершинами, не є лінгвістично повною.
4. Припустимо, що існує вершина, яка не включена до жодної метавершини і не належить до класу еквівалентності результуючих вершин. Нехай ця вершина належить класу еквівалентності V_i . Розглянемо два випадки: у першому випадку всі вершини з класу еквівалентності V_i не належать жодній метавершині, у другому випадку тільки частина вершин з класу еквівалентності V_i входить в деякі метавершини. Враховуючи взаємно-однозначність відображення БНЗ в метаграф, в першому випадку отримуємо, що існує лінгвістична змінна X_i , яка не задіяна в лівій частині жодного з правил. Це суперечить визначенню лінгвістично повної БНЗ. У другому випадку отримуємо, що існують терми ЛЗ X_i , які не входять ні в одне правило, що суперечить визначенню лінгвістично повної часткової БНЗ.
5. Припустимо, що існує вершина, яка не є вхідною і не має дуг, що входять. Враховуючи взаємно-однозначність відображення БНЗ в метаграф отримуємо, що в БНЗ існує терм ЛЗ верхнього рівня, для якого не існує жодного правила, яке його визначає, що суперечить визначенню лінгвістично повної часткової БНЗ.

Проведемо доведення у зворотний бік.

Покажемо, що якщо метаграф, який відповідає БНЗ, задовольняє умовам цього твердження, то БНЗ є лінгвістично повною.

Припустимо, що метаграф відповідає всім умовам цього твердження, а БНЗ, яка їм подана не є лінгвістично повною. Визначимо умови, за яких БНЗ не є лінгвістично повною:

1. Для визначення результуючої ЛЗ задіяні не всі часткові БНЗ.
2. Деяка з часткових БНЗ не є повною.

У свою чергу часткова БНЗ не є лінгвістично повною у таких випадках:

- 2.1. Існують правила, в ліві частини яких не входить жодного терму деякої ЛЗ нижнього рівня.
- 2.2. Один або кілька термів лінгвістичних змінних нижнього рівня не входять в жодне з правил.
- 2.3. Не всі елементи декартового добутку терм-множин ЛЗ нижнього рівня є лівими частинами правил для визначення ЛЗ верхнього рівня.
- 2.4. Існують правила, в ліві частини яких входить два або більше термів однієї ЛЗ.
- 2.5. Існує терм ЛЗ верхнього рівня, для якого не задано правило, де цей терм є результатом.

Будемо проводити доведення від супротивного. Як припущення будемо розглядати описані вище пункти, при яких БНЗ не є лінгвістично повною.

1. Припустимо, що для визначення результуючої ЛЗ задіяні не всі часткові БНЗ. Це означає, що в БНЗ існує часткова БНЗ, ЛЗ верхнього рівня якої не є ЛЗ нижнього рівня для жодної іншої часткової БНЗ і не є результуючою ЛЗ. Враховуючи взаємно-однозначність відображення БНЗ в метаграф отримуємо, що в метаграфі будуть існувати не результуючі вершини, які не належать метавершинам. Це суперечить п. 4 цього твердження.
2. Припустимо, що існує часткова БНЗ, яка є не повною.
 - 2.1. Нехай існують правила, в ліві частини яких не входить жодного

терму деякої ЛЗ нижнього рівня. Враховуючи взаємно-однозначність відображення БНЗ в метаграф отримуємо, що в метаграфі існують дві метавершини з'єднані дугами з вершинами з одного класу еквівалентності, в одну з яких входить вершина деякого класу еквівалентності, а в іншу ні. Це суперечить п. 1 цього твердження.

2.2. Нехай часткова БНЗ визначена на декартовому добутку термножин лінгвістичних змінних нижнього рівня $\{X_{j1}, X_{j2}, \dots, X_{jn}\}$.

Припустимо, що існує терм t_{js}^k лінгвістичної змінної X_{js} нижнього рівня, який не входить ні в одне з правил. Враховуючи взаємно-однозначність відображення БНЗ в метаграф отримуємо, що в метаграфі S' існують метавершини, визначені на наборах вершин з класів еквівалентності $\{V_{j1}, V_{j2}, \dots, V_{jn}\}$. Але у метаграфі S' для тих наборів вершин з класів еквівалентності $\{V_{j1}, V_{j2}, \dots, V_{jn}\}$, які включають вершину $v(t_{js}^k)$ з класу еквівалентності V_{js} не існує метавершин. Це суперечить п. 2 цього твердження. Також з цього випливає, що вершина $v(t_{js}^k)$ не належить жодній метавершині, що суперечить п.4 цього твердження.

2.3. Нехай часткова БНЗ визначена на декартовому добутку термножин лінгвістичних змінних нижнього рівня $\{X_{j1}, X_{j2}, \dots, X_{jn}\}$.

Припустимо, що існує набір термів $\{t_{j1}^{k_1}, t_{j2}^{k_2}, \dots, t_{jn}^{k_n}\}$, який не є лівою частиною, жодного з правил. Враховуючи взаємно-однозначність відображення БНЗ в метаграф отримуємо, що в метаграфі S' існують метавершини, визначені на наборах вершин з класів еквівалентності $\{V_{j1}, V_{j2}, \dots, V_{jn}\}$. Але в метаграфі S' не існує метавершини, яка відповідає множині вершин $\{v(t_{j1}^{k_1}), v(t_{j2}^{k_2}), \dots, v(t_{jn}^{k_n})\}$, що суперечить п. 2 цього твердження.

2.4. Припустимо, що існують правила, в ліві частини яких входить два або більше термів однієї ЛЗ. Враховуючи взаємно-однозначність відображення БНЗ в метаграф отримуємо, що в метаграфі S' існують метавершини, які містять в собі еквівалентні вершини. Це суперечить п. 3 цього твердження.

2.5. Припустимо, що існує терм ЛЗ верхнього рівня, для якого не задано правило, в якому цей терм є результатом. Враховуючи взаємно-однозначність відображення БНЗ в метаграф отримуємо, що існує вершина, в яку не входить жодна дуга, та яка не належить до жодного класу еквівалентності вхідних вершин. Дане припущення суперечить п. 5 цього твердження.

Твердження доведено.

Метод статичної верифікації ієрархічної бази нечітких знань, поданої метаграфом

Метод перевірки чи має задана БНЗ вказані властивості полягає у перевірці властивостей метаграфа. Дану перевірку легко можна здійснити використовуючи графічне подання метаграфа [138]. На рис. 2.10 – Рис. 2.13 були продемонстровані випадки не виконання властивостей метаграфа, які відповідають вимогам, що накладаються на БНЗ і описані вище.

Автоматизована перевірка БНЗ на відповідність властивостям проводиться під час впорядкування вузлів метаграфа. Наприклад, у випадку коли не можливо здійснити впорядкування – наявне зациклювання. При неповноті або надлишковості БНЗ будуть пронумеровані не всі вузли. Перевірка всіх властивостей БНЗ здійснюється згідно запропонованим вище твердженням.

Висновки

1. Запропоновано подання ієрархічної бази нечітких знань у вигляді

метаграфа, алгоритми нумерації його вузлів, виділення частини, необхідної для визначення шуканої лінгвістичної змінної, та нечіткого логічного виведення на основі метаграфа, який подає БНЗ, що дозволило підвищити ефективність нечіткого логічного виведення за рахунок використання лише необхідної частини правил та завдання порядку їх застосування.

2. Удосконалено нечітку логічну модель, за рахунок подання та використання БНЗ у вигляді метаграфа, застосування якої дозволило скоротити час оброблення інформації в інтелектуальних системах з ієрархічними базами нечітких знань за рахунок зменшення часу нечіткого логічного виведення.

3. Сформульовані та доведені твердження, в яких описані обмеження структури метаграфа при виконанні яких БНЗ має властивості несуперечливості, лінгвістичної повноти, лінгвістичної ненадлишковості, відсутності зациклювання.

4. Запропонований метод статичної верифікації БНЗ, який при використанні запропонованого подання БНЗ у вигляді метаграфа дозволяє зменшити час виконання перевірки на відповідність властивостям БНЗ.

РОЗДІЛ 3

ВІЗУАЛІЗАЦІЯ МЕТАГРАФА

Проведений в першому розділі аналіз методів візуалізації графових структур показав необхідність розроблення методу візуалізації метаграфа. Метод візуалізації метаграфів має дозволяти візуалізувати метаграфи, без витрат часу на ручну побудову графічного подання метаграфа.

Запропонований метод візуалізації метаграфів [139 – 142] дозволить застосовувати методи графічного аналізу в задачах, в яких використовуються метаграфи. Це, в свою чергу, дозволить знаходити протиріччя і неточності в моделі предметної області, поданої метаграфом, які важко виявити, використовуючи текстове або формальне подання. Велика кількість елементів предметної області, а також її часта зміна, призводить до необхідності частого оновлення зображення метаграфа, що важко реалізовувати вручну. Внаслідок цього завдання автоматичної побудови візуального подання метаграфа є актуальним.

3.1. Проблема візуалізації метаграфа

Так як алгоритми для візуалізації графів не призначені для роботи з структурою метаграфа, то в них немає механізмів, які враховують вкладеність вершин у метавершини.

Розглянемо докладніше проблеми, які можуть виникнути, якщо для знаходження позицій вузлів метаграфа використовувати алгоритм для візуалізації графів. У цьому випадку можна отримати неправильне графічне подання метаграфа, тобто таке, що не відповідає заданому аналітичному поданню метаграфа.

Нехай надана формальна специфікація метаграфа:

$$S_1 = \left\langle \begin{array}{l} \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8, v_9, v_{10}\}, \\ \{m_1, m_2, m_3, m_4\}, \\ \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5\} \end{array} \right\rangle,$$

де $m_1 = \{v_6, v_7\}$, $m_2 = \{v_3, v_4\}$, $m_3 = \{v_3, v_5\}$, $m_4 = \{v_1, v_2, v_3\}$, $e_1 = (m_1, v_9)$, $e_2 = (m_2, v_9)$, $e_3 = (v_4, v_7)$, $e_4 = (v_8, m_4)$, $e_5 = (v_5, v_{10})$.

Тоді графічне подання, яке відповідає заданому метаграфу S_1 відображено на рис. 3.1.

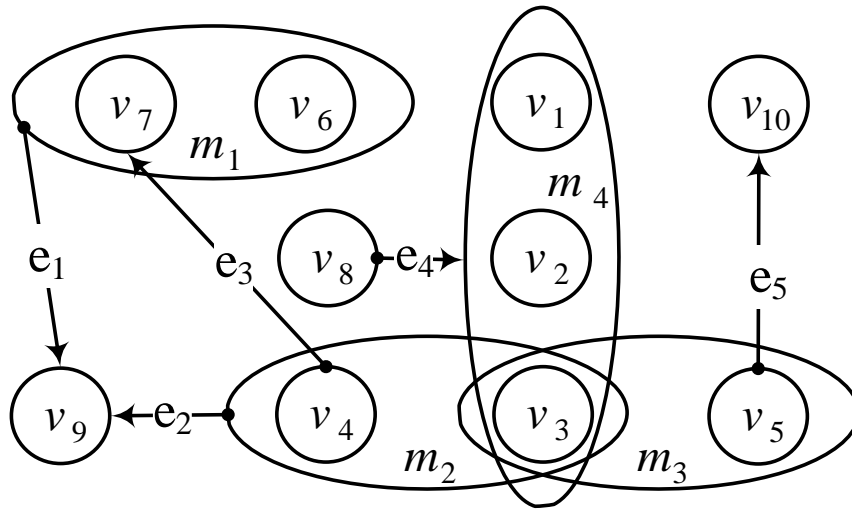


Рис. 3.1 Приклад правильного графічного подання метаграфу S_1

У разі якщо алгоритм візуалізації графів застосувати тільки до множини вершин, то або не розраховуватимуться власне положення метавершин, або не будуть враховуватися ребра інцидентні метавершинам. Метавершини в такому випадку можна сформулювати за рахунок обведення вершин, які їм належать. Після такої візуалізації метавершин може виникнути проблема розміщення вузлів у метавершині, що не належать їй. На рис. 3.2 показаний приклад такого розміщення. Вузлі, розташовані неправильно, виділені темним кольором, $v_1 \notin m_1$, $v_8 \notin m_1$, $v_5 \notin m_4$, $m_3 \notin m_4$, але на малюнку видно, що це не так.

У разі застосування алгоритму візуалізації графів до множини вершин і метавершин, вершини, що належать метавершині, будуть розташовані поза метавершиною за рахунок того, що їх положення будуть обчислюватися незалежно одна від одної.

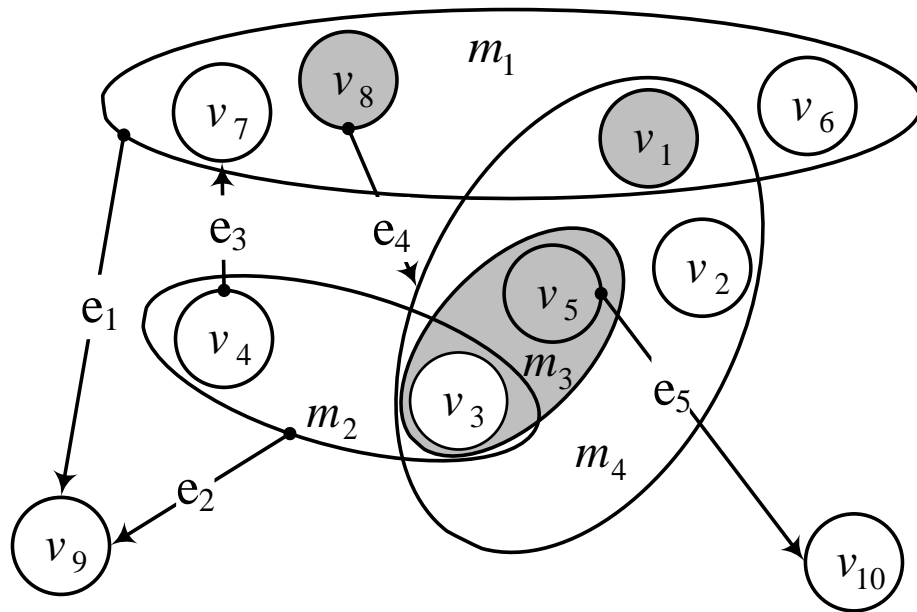


Рис. 3.2 Приклад неправильного графічного подання метаграфа S_1

3.2. Критерії правильної візуалізації метаграфа

Кожна вершина v_r і метавершина m_q має позицію – координати на площині $p_{v_r} = (x_{v_r}, y_{v_r})$, $p_{m_q} = (x_{m_q}, y_{m_q})$. Вектори $\overline{P_V} = (p_{v_1}, p_{v_2}, \dots, p_{v_{N_V}})$ – вектор позицій вершин, та $\overline{P_M} = (p_{m_1}, p_{m_2}, \dots, p_{m_{N_M}})$ – вектор позицій метавершин, повністю визначають розташування вузлів для візуалізації. Введемо p_{mv_i} – позначення для координат вузла, який може бути вершиною, якщо $mv_i \in V$, або метавершиною, якщо $mv_i \in M$.

Відстань між вузлами розраховується як Евклідова відстань між точками:

$$l_{e_h} = \|p_{mv_i} - p_{mv_j}\|.$$

Введемо означення графічного подання метавершини, ребра та метаграфа.

Означення 3.1. Графічне подання метавершини на площині – це геометрична фігура F_{m_q} , яка має позицію p_{m_q} і форму.

Позиція метавершини на кінцевому зображенні метаграфа – центр її фігури.

Означення 3.2. Графічне подання ребра – це крива F_{e_h} , яка визначена між координатами початку і кінця ребра.

Означення 3.3. Графічне подання метаграфа – це трійка $W_S = \langle R_V, F_M, F_E \rangle$, де R_V – вектор позицій вершин, $F_M = \{F_{m_q}\}$ – множина фігур метавершин, $F_E = \{F_{e_h}\}$ – множина кривих, що визначають ребра.

Означення 3.4. Правильне графічне подання метаграфа – це таке графічне подання метаграфа, яке однозначно відповідає заданому аналітичному поданню метаграфа, тобто відображення $S \rightarrow W_S$ є ізоморфним.

Визначимо критерії, при виконанні яких графічне подання метаграфа буде правильним:

1. Координати довільних вершин не повинні співпадати

$$\forall i, \forall j : i \neq j \Rightarrow p_{v_i} \neq p_{v_j}.$$

Причому координати метавершин можуть співпадати за наявності спільних внутрішніх вершин.

2. Тільки координати вершин, що належать метавершині m_q знаходяться в фігурі F_{m_q}

$$\forall v_r : v_r \in m_q \Rightarrow p_{v_r} \in F_{m_q}, \quad \forall v_r : v_r \notin m_q \Rightarrow p_{v_r} \notin F_{m_q}.$$

Основні вимоги до естетичності графічного подання графа: мінімальна кількість перетинів ребер, приблизно рівна довжина ребер, рівномірний розподіл вершин та ін. описані в роботах [120 – 127]. Ці вимоги також справедливі і для метаграфа. Але для метаграфа більш важливо правильне розташування метавершин і їх форма, ніж довжина ребер.

До естетичних вимог графічного подання метаграфа можна додати таку: фігури метавершин, що не мають спільних внутрішніх вершин, не мають перетинатися $\forall j, \forall k : m_j \cap m_k = \emptyset \Rightarrow F_{m_j} \cap F_{m_k} = \emptyset$.

3.3. Метод візуалізації метаграфів

Опишемо постановку задачі знаходження правильного графічного подання метаграфа.

Дано:

1. Метаграф $S = \langle V, M, E \rangle$.
2. Початкове розташування вузлів P_V, P_M .
3. Критерії правильної візуалізації метаграфа.
4. Прямокутна область розміщення зображення $U(C(x, y), L, H)$, де $C(x, y)$ – верхній лівий кут області, L – ширина області, H – висота області.

Знайти: графічне подання метаграфа.

Для розв’язання поставленої задачі необхідно визначити:

1. Розташування вершин, що не входять у метавершини.
2. Розташування метавершин, з урахуванням взаємного розташування метавершин, які мають спільні внутрішні вершини.
3. Взаємне розташування вершин у метавершині.
4. Форму фігур метавершин.
5. Криві F_{e_h} , що визначають ребра.

Для візуалізації метаграфа пропонується модифікувати алгоритм Фрюхтермана-Рейнгольда для візуалізації неорієнтованих графів [121] таким чином: розглянути всі можливі пари вузлів метаграфа та визначити правила дії сил між ними, ввести додаткові коефіцієнти балансування сил. Тоді сили будуть обчислюватися за такими формулами:

- сила відштовхування вузла mv_i від вузла mv_j :

$$\overline{f_{rep_{ij}}} = Kr_{ij} \frac{l^2}{\|p_{mv_i} - p_{mv_j}\|} \overline{p_{0_{ji}}}, \quad (3.1)$$

де $\overline{p_{0ji}} = \frac{p_{mv_i} - p_{mv_j}}{\|p_{mv_i} - p_{mv_j}\|}$ – одиничний вектор напрямку з p_{mv_j} у p_{mv_i} .

Зауважимо, що при $i = j$ сила відштовхування $\overline{f_{rep_{ij}}} = 0$.

- сила притягання вузла mv_i до вузла mv_j :

$$\overline{f_{attr_{ij}}} = Ka_{ij} \frac{\|p_{mv_i} - p_{mv_j}\|^2}{l} \overline{p_{0ij}}, \quad (3.2)$$

Зауважимо, що при $i = j$ сила притягання $\overline{f_{attr_{ij}}} = 0$.

Ідеальна довжина ребра l для метаграфа обчислюється як функція від площі розміщення та кількості вузлів:

$$l = \sqrt{\frac{area(U)}{N_V + N_M}}, \quad (3.3)$$

Також аналогічно до алгоритму [124], додано силу гравітації, яка притягує всі вершини до центру метаграфа.

$$\overline{F_{gr_i}} = \left(1 + \frac{\deg(mv_i)}{2}\right) \cdot K_{grav} \cdot \frac{B - p_{mv_i}}{\|B - p_{mv_i}\|}, \quad (3.4)$$

де B – центр метаграфа, обчислюється як

$$B = \frac{1}{N_V + N_M} \cdot \sum_i p_{mv_i}, \quad (3.5)$$

$\deg(mv_i)$ – ступінь вузла метаграфа або кількість інцидентних йому ребер,

$\frac{B - p_{mv_i}}{\|B - p_{mv_i}\|}$ – напрям до центру метаграфа.

Застосування сили гравітації не дає розлітатися слабозв'язаним вузлам метаграфа. Її величина залежить від ступеня вузла, завдяки чому вузли з великою кількістю вхідних або вихідних ребер розташовуються ближче до центру. Наявність сили гравітації робить загальне розташування більш круговим. Сила гравітації діє на всі вузли метаграфа (рис. 3.3).

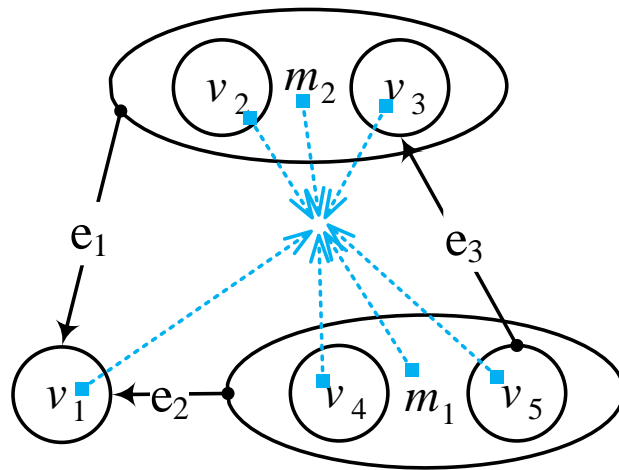


Рис. 3.3 Дія сили гравітації

Сили відштовхування діють між кожною парою вузлів, окрім пар метавершина та її внутрішня вершина (рис. 3.4).

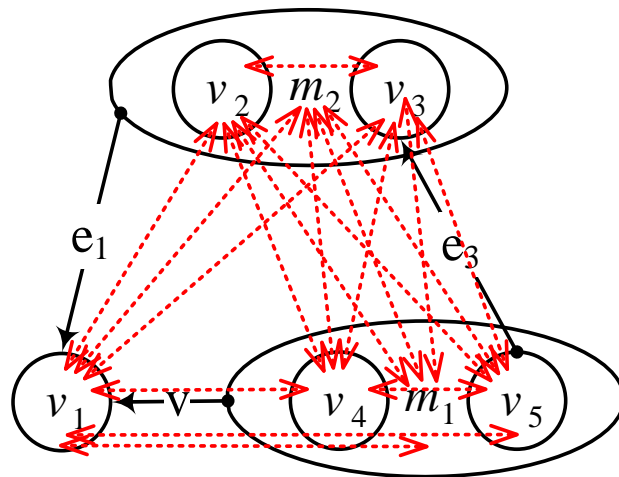


Рис. 3.4 Дія сил відштовхування

Сили притягання діють між суміжними вузлами, що гарантує розташування вузлів ближче один до одного при наявності ребра між ними. Також між метавершинами і вкладеними в них вершинами. Ця сила забезпечує розташування вкладених вершин всередині фігури метавершини та їх рух за метавершиною при її переміщенні під дією сил з боку інших вузлів. Сила притягання також діє між усіма вкладеними в метавершину вершинами, за рахунок чого забезпечується менша площа фігури метавершини. Дія сил притягання продемонстрована на рис. 3.5.

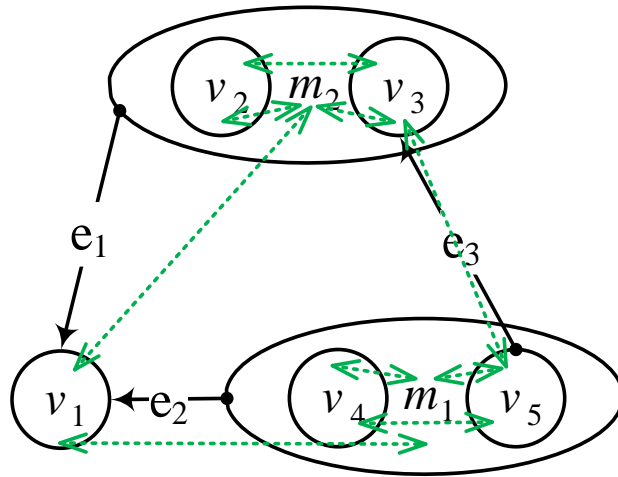


Рис. 3.5 Дія сил притягання

Тоді, загальна сила, що діє на вузол, буде розраховуватися за такою формулою:

$$\overline{F_{spring_i}} = \sum_j \overline{f_{rep_{ij}}} + \sum_j \overline{f_{attr_{ij}}} + \overline{F_{gr_i}}.$$

Метод візуалізації метаграфів полягає у наступному: метаграф розглядається як система об'єктів, з'єднаних пружинами за певними правилами. Кожна з пружин діє на з'єднані нею вузли з силою притягання або відштовхування. Під дією пружин та сили гравітації система рухається до тих пір, поки не встановиться рівновага – сума сил, що діють на вузол, дорівнює нулю. Гарантується, що вузли розміщуються всередині U – прямокутної області екрану і (або) паперу. З кожною ітерацією алгоритму вузли рухають на відстань $\delta(t)$ у напрямку вектору сумарної сили $\overline{F_{spring_i}}$, що діє на вузол. Функція $\delta(t)$ залежить від температури і спадає. Якщо вектор зміщення виштовхує вузол за кордони області U , відповідна координата вектору зміщення обрізається, а сила продовжує діяти по дотичній до кордону області U .

Розглянемо детально метод візуалізації метаграфів. Він складається з таких кроків:

1. Обчислити ідеальну довжину ребра за формулою (3.3).

2. Присвоїти значенню температури її максимальне значення $t = T_{\max}$.
3. Визначити матриці Kr і Ka .
4. Для кожної пари вузлів i та j (пари ji не враховуються):

4.1. Визначити напрям дії сили відштовхування $\overline{p_{0ji}} = \frac{p_{mv_i} - p_{mv_j}}{\|p_{mv_i} - p_{mv_j}\|}$,

але якщо вузли мають однакові позиції, то $\overline{p_{0ji}} = \frac{\bar{r}}{\|\bar{r}\|}$, де \bar{r}

випадковий вектор.

- 4.2. Якщо $Kr_{ij} \neq 0$ виконати дії 4.2.1. і 4.2.2.

4.2.1. Обчислити силу відштовхування $\overline{f_{repij}}$, діючу на i з боку j за формулою (3.1).

4.2.2. Додати вектор сили відштовхування $\overline{f_{repij}}$ до вектору сумарної сили вузла i : $\overline{F_{springi}} = \overline{F_{springi}} + \overline{f_{repij}}$.

- 4.3. Якщо $Kr_{ji} \neq 0$ виконати дії 4.3.1. і 4.3.2.

4.3.1. Обчислити силу відштовхування, діючу на j з боку i за формулою (3.1), підставляючи $(-\overline{p_{0ji}})$.

4.3.2. Додати вектор сили відштовхування $\overline{f_{repji}}$ до вектору сумарної сили вузла j : $\overline{F_{springj}} = \overline{F_{springj}} + \overline{f_{repji}}$.

- 4.4. Якщо $Ka_{ij} \neq 0$ виконати дії 4.4.1. і 4.4.2.

4.4.1. Обчислити силу притягання, діючу на i з боку j за формулою (3.2), підставляючи $(-\overline{p_{0ji}})$.

4.4.2. Додати вектор сили притягання $\overline{f_{attrji}}$ до вектору трансформації вузла j : $\overline{F_{springj}} = \overline{F_{springj}} + \overline{f_{attrji}}$.

- 4.5. Якщо $Ka_{ji} \neq 0$ виконати дії 4.5.1. і 4.5.2.

4.5.1. Обчислити силу притягання, діючу на j з боку i за формулою (3.2), підставляючи $(-p_{0ji})$.

4.5.2. Додати вектор сили притягання $\overline{f_{attr_{ji}}}$ до вектору трансформації вузла j : $\overline{F_{spring_j}} = \overline{F_{spring_j}} + \overline{f_{attr_{ji}}}$.

4.6. Обчислити центр метаграфа B за формулою (3.5).

4.7. Обчислити сили гравітації $\overline{F_{gr_i}}$ та $\overline{F_{gr_j}}$, які діють на i вузол та j за формулою (3.4).

$$4.8. \overline{F_{spring_i}} = \overline{F_{spring_i}} + \overline{F_{gr_i}}.$$

$$4.9. \overline{F_{spring_j}} = \overline{F_{spring_j}} + \overline{F_{gr_j}}.$$

5. Якщо всі $\|\overline{F_{spring_i}}\| < \varepsilon$, або $steps = Steps_{\max}$, де $steps$ – лічильник ітерацій, ε – точність визначення стану рівноваги, то перехід до п. 10.

6. Виконати пункти 6.1 – 6.3 для кожного вузла i .

$$6.1. \text{Визначити зміщення } \delta = \min(t, \|\overline{F_{spring_i}}\|).$$

6.2. Обчислити нову позицію вузла $p_{mv_i} = p_{mv_i} + \delta \times \frac{\overline{F_{spring_i}}}{\|\overline{F_{spring_i}}\|}$ – зміщення p_{mv_i} на відстань δ в напрямку $\overline{F_{spring_i}}$.

6.3. Виконати обмеження позиції p_{mv_i} за областю U :

$$6.3.1. p_{mv_i}.x = \min(C.x + L, \max(p_{mv_i}.x, C.x)).$$

$$6.3.2. p_{mv_i}.y = \min(C.y + H, \max(p_{mv_i}.y, C.y)).$$

$$7. \text{Охолодити систему: } t = t - \frac{T_{\max}}{Steps_{\max}}.$$

8. Збільшити лічильник ітерацій: $steps = steps + 1$.

9. Перехід п. 4.

10. Для кожної метавершини m_q знайти F_{m_q} і задати її позицію, як

центр F_{m_q} .

11. Для кожного ребра e_h знайти F_{e_h} .

12. Графічне подання метаграфа S отримано.

Застосування запропонованого методу дозволяє знайти такі координати вузлів, при яких графічне подання метаграфа буде правильним. Фігуру метавершини можна прийняти за еліпс. Проте для зменшення займаної площі, уникнення перетинів фігур метавершин, підвищення наочності зображення, для метавершин з трьома і більше внутрішніми вершинами її можна визначати як мінімальну опуклу оболонку множини позицій внутрішніх вершин. Для знаходження цієї оболонки можна використовувати алгоритми Джарвіса, Грехема або Чана [143].

У найпростішому випадку ребра можна задати як прямі, що з'єднують фігури вузлів. Однак при такому зображенні виникають проблеми множинних перетинів ребер і перетинів фігур метавершин ребром. Виходячи з цього, необхідно розраховувати форму ребра як криву Безьє або В-сплайн [144, 145], які будуть огинати вузли.

3.4. Формули визначення коефіцієнтів притягання та відштовхування

Матриці коефіцієнтів притягання та відштовхування

Коефіцієнти при силах притягання і відштовхування Kr_{ij} і Ka_{ij} балансують значення цих сил та залежать від типу кожного вузла у парі і їх співвідношення. Таким чином, вони змінюють довжину ребра між вузлами.

Для зручності всі коефіцієнти Kr_{ij} і Ka_{ij} можна звести до двох матриць – матриці коефіцієнтів притягання та матриці коефіцієнтів відштовхування:

$$|Kr| = \begin{pmatrix} 0 & Kr_{12} & \cdots & Kr_{1N_{MV}} \\ Kr_{21} & 0 & & \\ \vdots & & \ddots & \\ Kr_{N_{MV}1} & \cdots & Kr_{N_{MV}N_{MV}-1} & 0 \end{pmatrix},$$

$$|Ka| = \begin{pmatrix} 0 & Ka_{12} & \cdots & Ka_{1N_{MV}} \\ Ka_{21} & 0 & & \\ \vdots & & \ddots & \\ Ka_{N_{MV}1} & \cdots & Ka_{N_{MV}N_{MV}-1} & 0 \end{pmatrix}.$$

Рядки і стовпці обох матриць відображають вузли метаграфа. Маємо нулі по діагоналі бо не існує сил притягання чи відштовхування вузла з собою.

Для пар метавершина та її внутрішня вершина $Kr_{ij} = 0$, бо сила відштовхування для цих пар не діє.

Для пар $mv_i, mv_j \in m_q$ – внутрішня вершина та внутрішня вершина метавершини m_q , коефіцієнт відштовхування визначається за формулою:

$$Kr_{ij} = Avg_{inner}, \quad (3.6)$$

де Avg_{inner} – середня кількість внутрішніх вершин у метавершинах метаграфа. Таке значення обране щоб між внутрішніми вершинами всіх метавершин були приблизно однакові відстані.

Для всіх інших пар вузлів mv_i та mv_j :

$$Kr_{ij} = \frac{w_{mv_i} + w_{mv_j}}{2}, \quad (3.7)$$

де $w_{mv_i} = \begin{cases} 1, & mv_i \in V \\ N_m, & mv_i \in M \end{cases}$ – ваговий коефіцієнт вузла.

Таким чином, якщо у парі обидва вузла є вершинами, то $Kr_{ij} = 1$. Якщо у парі присутня одна метавершина, то сила відштовхування буде залежати від її

вагового коефіцієнту w_{mv} . Ваговий коефіцієнт являє собою кількість її внутрішніх вершин N_{m_q} . Якщо у парі обидва вузли – метавершини, то сила відштовхування залежить від середнього значення вагових коефіцієнтів метавершин. З цього випливає, що метавершини з більшою кількістю внутрішніх вершин будуть розташовуватись на більшій відстані.

Коефіцієнт при силі притягання внутрішніх вершин $mv_i \in m_q$ до метавершини $mv_j = m_q$ визначається за формулою:

$$Ka_{ij} = \frac{N_{m_q} + \deg(m_q) + 1}{1 + \frac{\deg(mv_i)}{2}}. \quad (3.8)$$

Для пар $mv_i, mv_j \in m_q$ – внутрішня вершина та внутрішня вершина метавершини m_q :

$$Ka_{ij} = \frac{Avg_{inner}}{1 + \frac{\deg(m_q)}{2}}. \quad (3.9)$$

За наявності ребра коефіцієнт при силі притягання для інших вузлів визначається за формулою:

$$Ka_{ij} = \frac{w_{mv_i} + w_{mv_j}}{2 + \deg(m_q)}. \quad (3.10)$$

Якщо ребра між вузлами немає, то $Ka_{ij} = 0$.

Використання виразу у знаменнику $1 + \frac{\deg(m_q)}{2}$, забезпечує більш повільний рух вузлів з високим ступенем.

Після знаходження матриць коефіцієнтів вони нормуються відносно максимального значення. Тому у результаті всі елементи матриць менші або дорівнюють одиниці.

Матриці коефіцієнтів притягання та відштовхування для основних прикладів взаємозв'язків між вузлами метаграфів наведені в Додатку А.

Метод знаходження матриць коефіцієнтів притягання і відштовхування складається з кроків:

1. Для всіх вузлів з індексом i виконати підпункти.
 - 1.1. Для всіх вузлів з індексом j , починаючи з $j = i + 1$ виконати підпункти.
 - 1.1.1. Визначити Kr_{ij} та Kr_{ji} за формулою (3.7).
 - 1.1.2. Якщо вузол i є метавершиною виконати підпункти.
 - 1.1.2.1. Перебрати внутрішні вершини вузла i з індексами j , починаючи з $j = 0$ та виконати підпункти.
 - а. Визначити індекс m , що відповідає вузлу j у множині вершин метаграфа.
 - б. Визначити Ka_{im} за формулою (3.9).
 - с. Перебрати внутрішні вершини вузла i з індексами k , починаючи з $k = j + 1$ та виконати підпункти.
 - с.1. Визначити індекс n , що відповідає вузлу k у множині вершин метаграфа.
 - с.2. Визначити Ka_{mn} та Ka_{nm} за формулою (3.8).
 - с.3. Визначити Kr_{nm} та Kr_{mn} за формулою (3.6).
2. Для кожного ребра з індексом h метаграфа.
 - 2.1. Визначити індекс i початкового вузла $e_h.mv_{out}$.
 - 2.2. Визначити індекс j кінцевого вузла $e_h.mv_{in}$.
 - 2.3. Визначити Ka_{ij} за формулою (3.10).
3. Знайти максимальне значення в $|Ka|$.
4. Знайти максимальне значення в $|Kr|$.
5. Поділити кожен елемент $|Ka|$ та $|Kr|$ на їх максимальні значення.

У табл. 3.1 наведені всі запропоновані коефіцієнти притягання та відштовхування в залежності від різних пар вузлів, на які діють сили.

Таблиця 3.1

Коефіцієнти притягання та відштовхування в залежності від різних пар вузлів

	Пара вузлів mv_i, mv_j	Коефіцієнт притягання	Коефіцієнт відштовхування
Метавершина та її внутрішні вершини	$mv_j = m_q,$ $mv_i \in m_q$	$Ka_{ij} = \frac{N_{m_q} + \deg(m_q) + 1}{1 + \frac{\deg(mv_i)}{2}}$	$Kr_{ij} = 0$
Дві вершини, які належать одній метавершині	$mv_i, mv_j \in m_q$	$Ka_{ij} = \frac{Avg_{inner}}{1 + \frac{\deg(mv_i)}{2}}$	$Kr_{ij} = Avg_{inner}$
Інші		$Ka_{ij} = \frac{w_{mv_i} + w_{mv_j}}{1 + \frac{\deg(mv_i)}{2}}$	$Kr_{ij} = \frac{w_{mv_i} + w_{mv_j}}{2}$
Два вузла між якими немає ребра	$\neg \exists e(mv_i, mv_j)$	$Ka_{ij} = 0$	$Kr_{ij} = \frac{w_{mv_i} + w_{mv_j}}{2}$

На рис. 3.6 продемонстрований результат застосування методу візуалізації метаграфа.

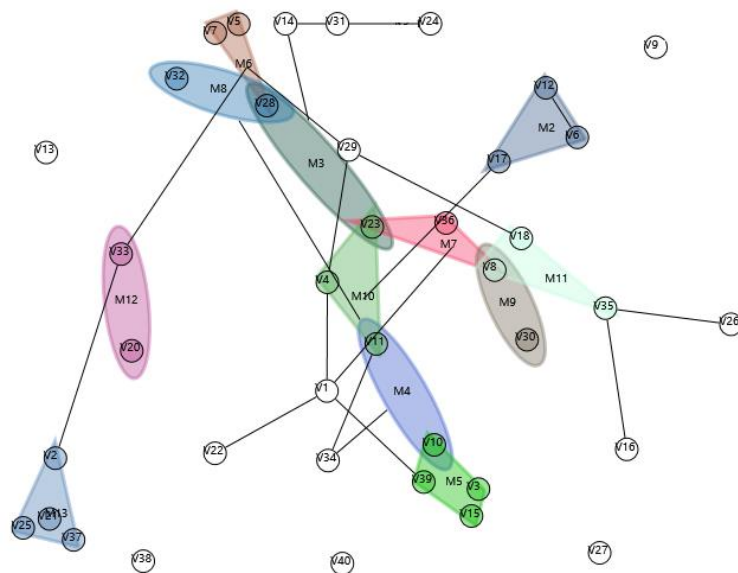


Рис. 3.6 Приклад графічного подання метаграфа

3.5. Візуалізація ієрархічних метаграфів

Запропонований метод візуалізації метаграфів застосовний для

формування графічного подання довільного метаграфа. Особливістю отриманого графічного подання буде рівномірність розподілення координат вузлів на площині. Однак, якщо його застосувати до метаграфа, який подає БНЗ, то отримаємо графічне зображення, в якому не врахована та наочно не відображена ієрархічність БНЗ.

Для отримання загальноприйнятого графічного представлення ієрархії [146] необхідно розташування ребер в одному напрямку і вершин на візуально окреслених рівнях. Це дозволяє візуально відокремити вузли, розташовані на різних рівнях ієрархії, і наочно прослідковувати взаємозв'язки між рівнями.

Оскільки метаграф є структурою з вкладеними вузлами, в загальному випадку виникає проблема визначення рівнів, до яких відносяться вузли метаграфа [147]. Вузли, які розташовані на одному рівні та перетинаються, не завжди можна зобразити в одну лінію, як прийнято при зображенні ієрархічних структур. В результаті цього завдання візуалізації ієрархічного метаграфа вимагає врахування більшої кількості показників, ніж при візуалізації не ієрархічного метаграфа.

Для візуалізації ієрархічного метаграфа накладемо додаткові обмеження на метаграф та внесемо відповідні зміни у запропонований метод візуалізації метаграфів таким чином [148]:

1. Область екрану (паперу) ділиться на рівні горизонтальні ділянки, на кожній з яких будуть зображені вузли, які відносяться до відповідних рівнів.

2. Вузли метаграфа розташовуються строго в межах рівнів, до яких вони належать, за рахунок застосування функції обрізки координат. Ця функція залежить від номера рівня.

3. Сила гравітації діє на кожному рівні у напрямку центру області цього рівня, коефіцієнт гравітації знижений. Це забезпечує розташування вузлів ближче до центру рівня.

Результат застосування методу візуалізації ієрархічних метаграфів продемонстровано на рис. 3.7.

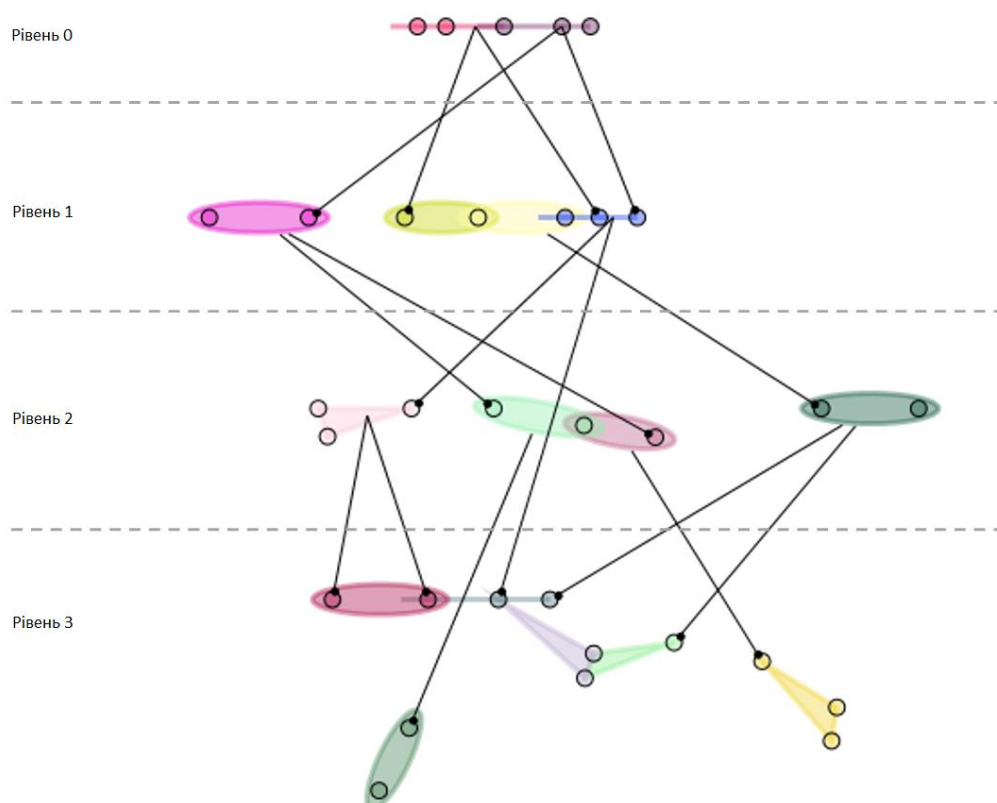


Рис. 3.7 Приклад графічного подання ієрархічного метаграфа

Висновки

1. Визначено критерії, які накладають обмеження на взаємне розташування вузлів метаграфа та дотримання яких забезпечує отримання правильного графічного подання метаграфа, тобто такого, що відповідає заданому аналітичному поданню метаграфа.

2. Запропонований метод візуалізації метаграфів полягає у комбінуванні силових алгоритмів та надає можливість будувати графічне подання довільного метаграфа в автоматичному режимі, що дозволяє економити час при змінах, які потребують перебудови зображення.

3. В рамках запропонованого методу визначено правила дії сил між вузлами, які залежать від типу вузлів, між якими вони діють, і наявності дуг між ними.

4. Запропоновано розширення методу візуалізації метаграфів для випадку ієрархічних метаграфів, застосування якого дозволить враховувати ієрархічність БНЗ, та зробити наочним взаємозалежності між ЛЗ.

РОЗДІЛ 4

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ СТВОРЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ БАЗ НЕЧІТКИХ ЗНАНЬ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТАГРАФІВ

ІТСВ БНЗ складається з комплексу інструментальних засобів, методичних матеріалів, моделі, методів, алгоритмів та критеріїв. Вона дозволяє скоротити час оброблення інформації в інтелектуальних системах з ієрархічними базами нечітких знань, а також залучати персонал, що не є спеціалістами в ІТ, в процес роботи з БНЗ. Для практичного впровадження розробленої інформаційної технології розглядаються особливості створення інформаційної системи (ІС).

4.1. Основні положення інформаційної технології створення та використання баз нечітких знань із застосуванням метаграфів

Концептуальні вимоги до створення інформаційної технології, які були наведені в першому розділі, формалізуються на функціональному та операційному рівні, вони наведені у табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Процесні, функціональні та операційні вимоги до інформаційної технології

Процеси	Процедури	Операції
Отримання	Збирання	- отримання даних, які описують СО, з архівів, пристроїв для діагностування та при спостереженнях за СО; - отримання ЛЗ, термів з ФН та правил для БНЗ.
	Перевірка та перетворення	перевірка коректності формату документів з даними та файлами з БНЗ і перетворення їх до необхідного формату
	Введення	внесення інформації в БД: - даних; - БНЗ.
Накопичення	Архівація	- збереження всіх даних та БНЗ; - збереження результатів оцінки стану СО.
	Оновлення	оновлення результатів діагностування та стану досліджуваних СО
	Пошук	пошук та видача збережених даних

Продовження таблиці 4.1

Оброблення	Підготовка	- подання БНЗ метаграфом; - підготовка метаграфа: - впорядкування вузлів метаграфа; - виділення необхідної частини метаграфа; - статична верифікація БНЗ.
	Логічне виведення	оцінка стану СО
	Генерація	формування повідомлень з результатами логічного виведення
Взаємодія з користувачем	Введення	реагування на введення інформації користувачем
	Виведення текстової інформації	- формування таблиць з даними, що описують СО; - формування текстового подання БНЗ (ЛЗ, термів, правил).
	Візуалізація (виведення графічної інформації)	- формування графічної інтерпретації даних, що описують СО (графіки, діаграми); - формування графічного подання ФН; - формування графічного подання БНЗ у вигляді метаграфа; - формування графічного подання агрегованих результатів оброблення інформації (графіки, діаграми).

Процес отримання має бути реалізований через процедури збирання, перевірки, та введення інформації. Процедура збору інформації включає в себе операції з отримання даних та БНЗ.

Дані отримуються з існуючих архівів, в яких наявна інформація про СО, пристроїв для діагностування або при спостереженні за СО. У випадку оцінки стану людини пристроями для діагностування можуть бути пристрої вимірювання температури, ваги, артеріального тиску, електроенцефалограф, результати аналізів та ін. У випадку оцінки стану продукції це дані з датчиків, результати випробувань або результати хімічних аналізів та ін..

При отриманні БНЗ необхідно зібрати всю інформацію про БНЗ згідно описаної у першому розділі структури, тобто ЛЗ, терми з ФН та правила. В даному випадку інформація може надаватись експертами або за рахунок здійснення автоматизованої побудови БНЗ при проведенні етапів структурної

та параметричної ідентифікації на основі зібраних даних.

Процедури перевірки та перетворення необхідні для забезпечення можливості отримання інформації з гетерогенних джерел. Вони включають операції з перевірки форматів та структур документів з первинною інформацією та подальше перетворення їх у формат придатний для завантаження до єдиної БД.

Процедура введення інформації передбачає внесення даних та БНЗ. При наявності в пристроях для діагностування можливостей для збереження та завантаження показників вимірювання дані, зчитані з них, або отримані з архівів перетворюються до необхідного формату та вносяться у БД. У іншому випадку оператор фіксує та вносить виміряні показники вручну за допомогою спеціально розробленого інтерфейсу.

Процес накопичення має надавати можливість архівації, оновлення та пошуку. Архівація передбачає збереження всіх даних отриманих на етапі збору та важливих результатів отриманих на етапі оброблення інформації. Оновлення має відбуватися при надходженні нових результатів діагностування СО та фіксуванні їх стану.

Процес оброблення інформації є основним в ІТСВ БНЗ, що розроблюється. Він має включати процедури підготовки, власне логічного виведення та генерації повідомлень з результатами логічного виведення. Процедура підготовки націлена на зменшення часу логічного виведення та включає операції для подання БНЗ метаграфом, подальшої його підготовки шляхом впорядкування вузлів та виділення необхідної частини метаграфа, а також операцію статичної верифікації БНЗ. Після підготовки виконується процедура логічного виведення та видача його результатів.

Процеси отримання, накопичення та оброблення інформації існують невідривно, залежать та відбуваються завдяки *процесу взаємодії з користувачем*, який включає процедури введення і виведення текстової та графічної інформації. Цей процес відповідає за взаємодію користувача з ІТСВ БНЗ. Графічний інтерфейс користувача має бути побудований з врахуванням

вимог до візуалізації інформації, наведених в першому розділі, та дотримуватися принципів і законів побудови інтерфейсів [149, 150].

Комплекс інструментальних засобів створення та використання БНЗ для оброблення інформації з оцінки стану складного об'єкту

В рамках ІТСВ БНЗ був розроблений комплекс інструментальних засобів (КІЗ) створення та використання БНЗ для оброблення інформації з оцінки стану СО. Він включає програмні модулі, які функціонують згідно методам та алгоритмам запропонованим у роботі. Це модуль створення та редагування БНЗ на основі метаграфа, модуль візуалізації метаграфа, модуль підготовки метаграфа, який реалізує впорядкування вузлів та виділення необхідної частини метаграфа, модуль статичної верифікації БНЗ та модуль нечіткого-логічного виведення на основі метаграфа, модуль роботи з БД. Розроблені програмні модулі КІЗ характеризується гнучкістю та мобільністю, здатністю функціонування в гетерогенному інформаційно-телекомунікаційному середовищі. Послідовність роботи з програмними модулями створення та використання БНЗ для оброблення інформації з оцінки стану СО наведено на рис. 4.1.

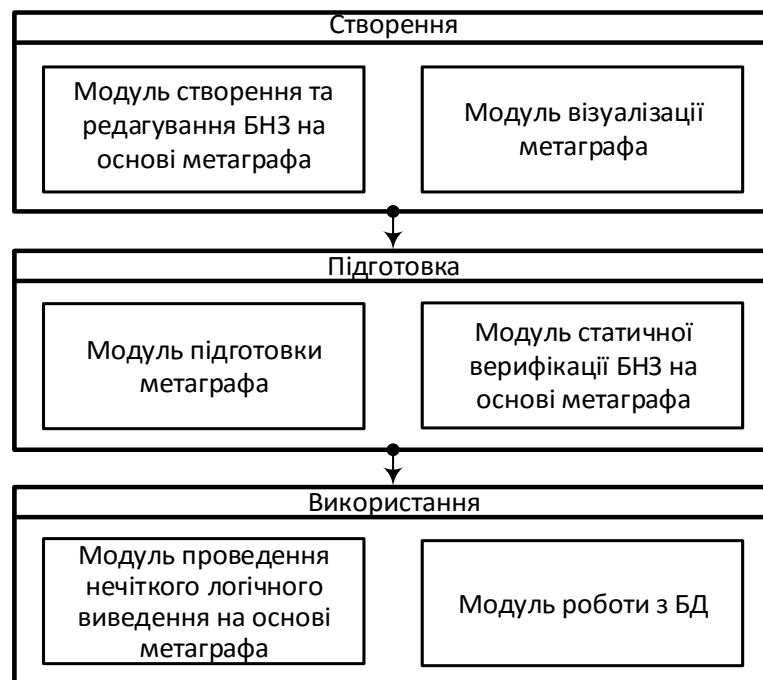


Рис. 4.1 Програмні модулі КІЗ ІТСВ БНЗ

Архітектура інформаційної технології

Виходячи з поставлених в першому розділі вимог до архітектури інформаційної технології можна підсумувати, що архітектура ІТСВ БНЗ має бути продумана таким чином щоб забезпечувалась розподілене оброблення інформації, з можливістю функціонування в offline режимі, встановлення та налаштування програмного забезпечення має реалізовуватись за мінімум часу та без зусиль, воно має працювати на якомога більшій різновидності пристроїв, не вимагаючи потужних ресурсів.

Для забезпечення гнучкості та масштабованості, а також можливості роботи ІТСВ БНЗ в гетерогенному інформаційно-телекомунікаційному середовищі було запропоновано реалізовувати її згідно web-орієнтованої архітектури (рис. 4.2). Основними компонентами ІТСВ БНЗ є сервер баз даних, який забезпечує роботу БД та БНЗ, сервер застосувань, web-сервер та програма переглядач (web-браузер) для доступу користувача. При обробці інформації сервер застосувань використовує та записує дані зі сховищ даних.

Таке рішення забезпечує можливість розподіленого оброблення інформації та її швидкість, можливість доступу та оброблення географічно розподілених даних, а також низькі вимоги до пристрою користувача. Взаємодія клієнтів с сервером застосувань та сховищами даних може здійснюватися через мережу Internet, локальну мережу або фізично розташовуватись на одному апаратно програмному комплексі з подальшою функцією синхронізації з центральним компонентом ІТСВ БНЗ. Центральний компонент містить центральний сервер сховищ даних, центральний сервер застосувань та web-сервер. Центральний сервер застосувань містить найбільш повний набір інструментальних засобів ІТСВ БНЗ.

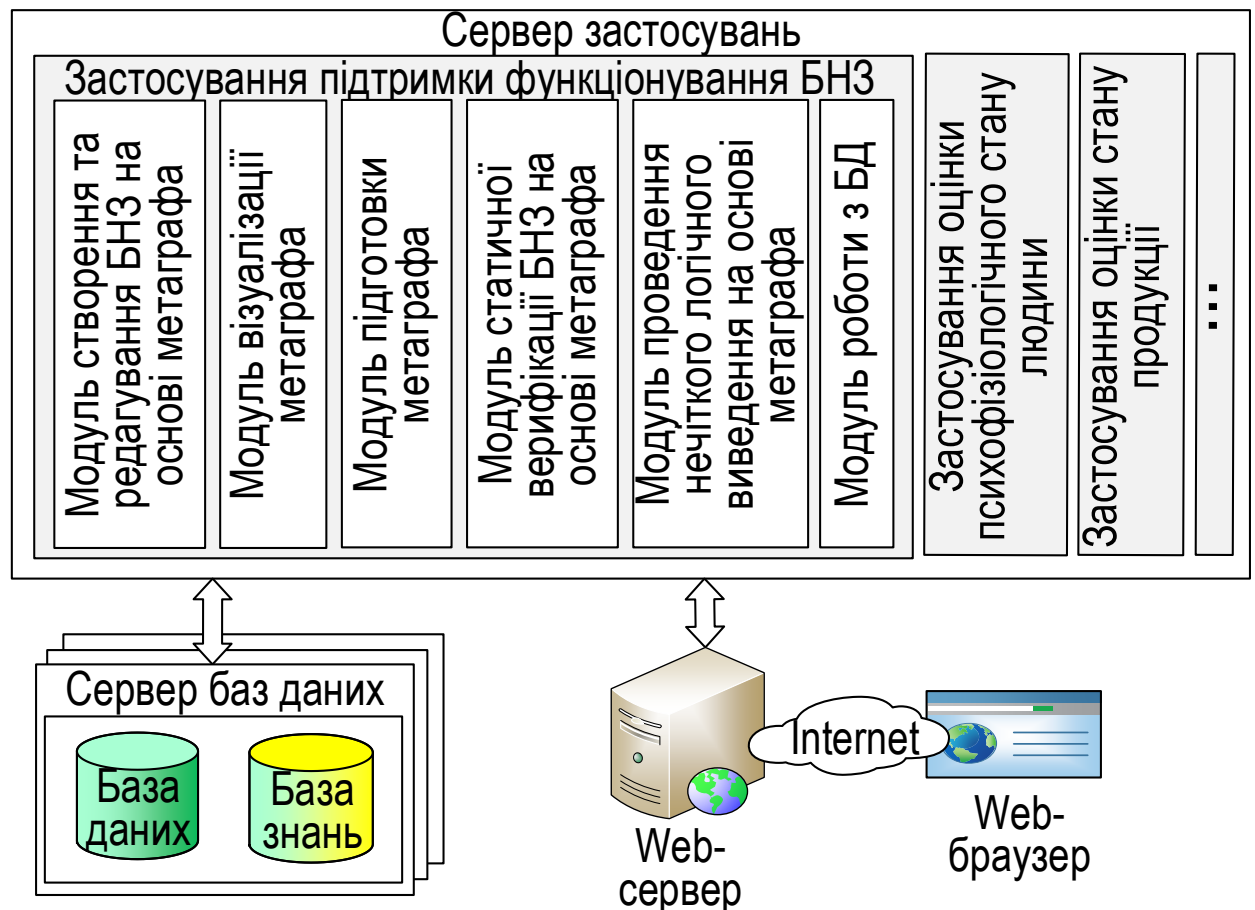


Рис. 4.2 Архітектура ІТСВ БНЗ

Беручи до уваги описані вимоги необхідно забезпечити роботу користувачів, яким періодично необхідно використовувати ІТСВ БНЗ без доступу до мережі, в автономному режимі. Для цього пропонується передбачити застосування оцінки стану СО, яке може бути встановлене на довільному пристрої (комп'ютер, планшет, смартфон), та включає тільки необхідні програмні модулі. Це «локальний модуль оцінки стану СО», «локальне сховище даних» та «інтерфейс досліджуваного об'єкту». «Локальний модуль оцінки стану СО» включає «модуль оброблення та настройки вхідних даних для проведення нечіткого логічного виведення», який дозволяє обробляти дані введені користувачем, зберігати їх в «локальному сховищі даних» та подавати необхідні дані на вхід до «модулю нечіткого логічного виведення з використанням метаграфа», який, в свою чергу, використовуючи локальну БНЗ, здійснює нечітке логічне виведення для оцінки стану СО. «Інтерфейс досліджуваного об'єкту» забезпечує введення

даних користувачем, та видачу результату користувачеві. та може працювати в автономному режимі, а при наявності мережі дані з «локального сховища даних» синхронізуються з центральним сервером. Таке рішення дозволяє реалізувати розподілену архітектуру, при якій ІС може функціонувати навіть при тимчасовій відсутності зв'язку між її складовими.

Структурну схему взаємодії компонентів у застосуванні оцінки стану СО наведено на рис. 4.3.

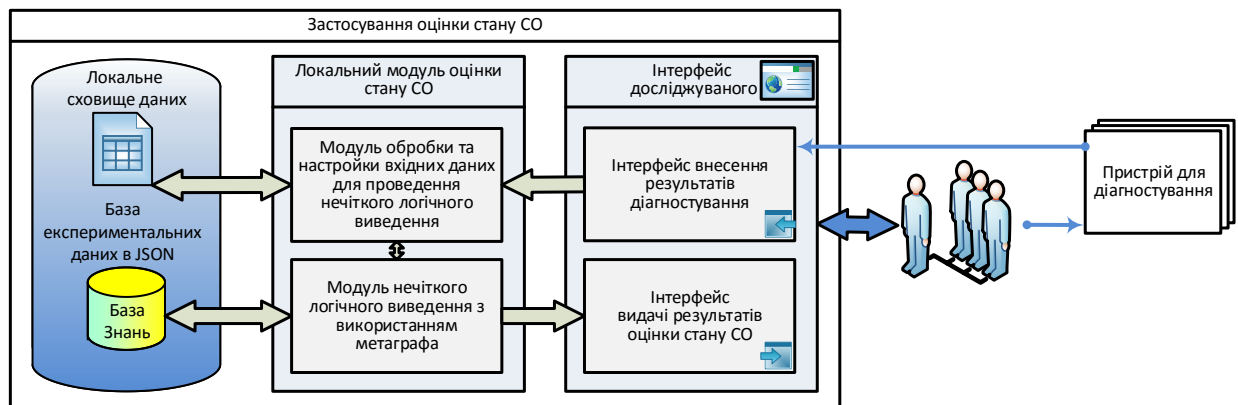


Рис. 4.3 Структурна схема взаємодії компонентів у застосуванні оцінки стану СО

Зберігання бази нечітких знань в реляційній базі даних

Для зберігання БНЗ, структура якої описана в першому розділі, необхідно розв'язати задачу формування структури реляційної БД та визначити механізми роботи з нею [151 – 153].

Схема бази даних для зберігання бази нечітких знань

Постановку задачі формування схеми реляційної БД для зберігання БНЗ можна записати у вигляді:

Дано:

БНЗ.

Зайти:

Схему реляційної БД $\langle B, L, C \rangle$ для зберігання БНЗ, де

1. $B = \{b_q \mid q = \overline{1, n}\}$ – множина відношень БД, для яких визначені атрибути $A_q = \{a_{qp} \mid p = \overline{1, m}\}$ та обмеження $S_p = \{s_{pk} \mid k = \overline{1, r}\}$, що накладаються на

ці атрибути;

2. $L = \{l_v \mid v = \overline{1, h}\}$ – множина зв'язків між відношеннями B .
3. C - правила та обмеження, які забезпечують цілісність та підтримують правильність внесення знань.

Розв'язування цієї задачі полягає у проведенні концептуального та логічного етапу проектування БД [154 – 157]. Спочатку виділяються основні сутності їх властивості та зв'язки між сутностями, потім для усунення аномалій та збитковості даних проводиться нормалізація отриманої схеми. Після проведення зазначених дій запропонована схема зберігання буде складатися з таких відношень: $B = \{\text{LinguisticVariable}, \text{TermName}, \text{RuleForCreateTermName}, \text{MembershipFunction}, \text{FuncXY}, \text{Function}, \text{Term}, \text{KnowledgeMatrix}, \text{FuzzyRule}\}$, де

- Відношення `LinguisticVariable` призначено для зберігання лінгвістичних змінних, включає атрибути `LinguisticVariableID` – унікальний ідентифікатор ЛЗ, `Name` – ім'я ЛЗ та `Description` – опис ЛЗ.
- Відношення `TermName` використовується як класифікатор назв термів, включає атрибути `TermNameID` – унікальний ідентифікатор терму та `Name` – назву терму відповідно.
- Відношення `RuleForCreateTermName` використовується як класифікатор синтаксичних правил для формування назви терму, включає атрибути `RuleForCreateTermNameID` – унікальний ідентифікатор синтаксичного правила для формування назви терму та `Name` – ім'я синтаксичного правила для формування назви терму.
- Відношення `MembershipFunction` використовується як класифікатор для функцій належності, включає атрибути `MembershipFunctionID` – унікальний ідентифікатор функції належності, `FunctionID` – унікальний ідентифікатор функції, `Name` – ім'я, `Description` – опис, `Parameters` – параметри функції, в разі виклику функції з відповідної бібліотеки, `FromX` та `ToX` – границі області визначення функції належності.

- Відношення `Function` використовується для зберігання інформації для підключення до бібліотек, які реалізують обчислення функцій належності, включає атрибути `FunctionID` – унікальний ідентифікатор, `Name` – назву функції, `ConnectionString` – параметри, які описують де знаходиться та як викликати функцію та `Description` – опис функції.

- Відношення `FuncXY` використовується як альтернативне до відношення `Function`, в тому випадку коли ФН можливо задати набором координат, наприклад, для трикутних або трапецієвидних ФН. В цьому відношенні зберігаються координати точок, з яких можна відтворити функцію належності. Включає атрибути, `MembershipFunctionID` – унікальний ідентифікатор функції належності, `X` – x координата точки та `Y` – y координата точки.

- Відношення `Term` використовується для зберігання інформації про терми лінгвістичних змінних, об'єднує в собі всю інформацію з вищеописаних відношень, включає атрибути `TermID` – унікальний ідентифікатор терму, `LinguisticVariableID` – унікальний ідентифікатор лінгвістичної змінної, `TermNameID` – унікальний ідентифікатор назви терму, `RuleForCreateTermName` – унікальний ідентифікатор синтаксичного правила для формування назви терму та `MembershipFunctionID` – унікальний ідентифікатор функції належності.

- Відношення `Rule` використовується для зберігання інформації про правила БНЗ, включає атрибути `FuzzyRuleID` – унікальний ідентифікатор правила та `Description` – опис правила.

- Відношення `KnowledgeMatrix` використовується для зберігання власне правил БНЗ, включає атрибути `FuzzyRuleID` – унікальний ідентифікатор правила, `TermID` – унікальний ідентифікатор терму та `IsResultOfRule` – ознака, чи є цей терм результатом цього правила.

Для опису зв'язків, ключів відношень та наочного уявлення на рис. 4.4 наведено графічне подання запропонованої схеми зберігання.

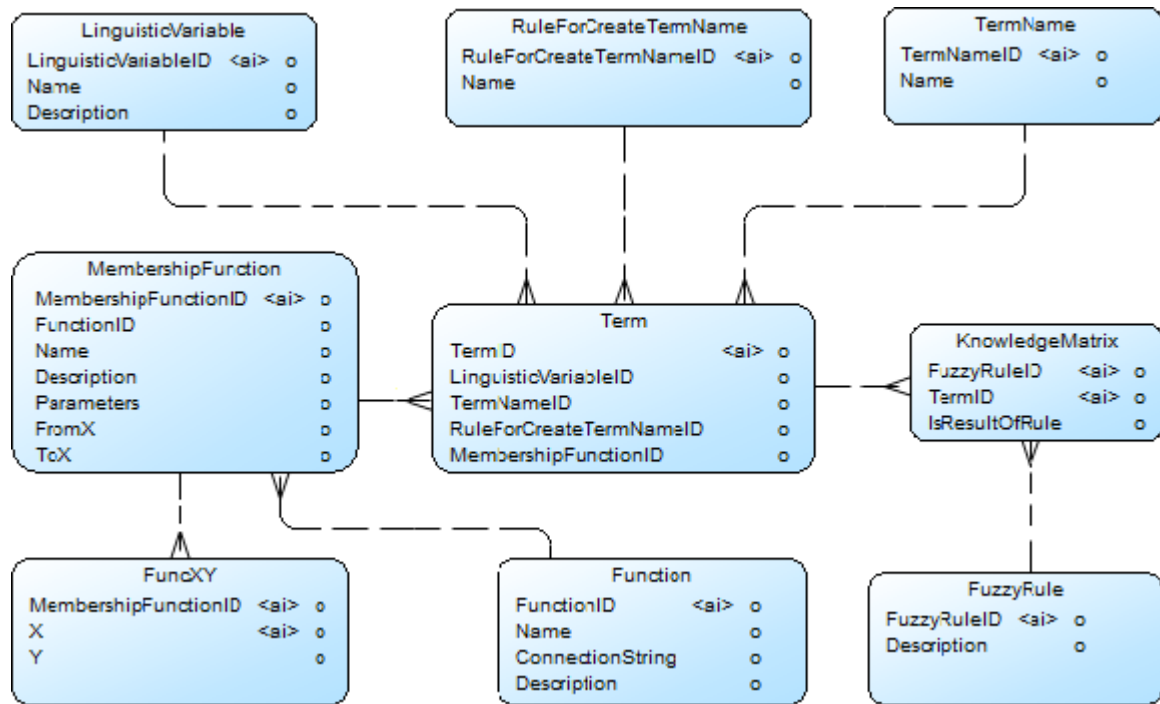


Рис. 4.4 ER-діаграма БД для зберігання БНЗ

Обмеження, які будуть забезпечувати цілісність і дотримання особливостей подання нечітких знань можуть бути задані у вигляді доменів для атрибутів, власне забезпеченням цілісності засобами системи керування БД (СКБД) для запропонованої схеми, або тригерів в СКБД, які будуть спрацьовувати при додаванні та зміні інформації.

В запропонованій схемі кожна сутність ідентифікується за допомогою ключового атрибуту, який є унікальним. Це надає можливість оперувати сутностями та здійснювати логічне виведення, використовуючи тільки унікальні ідентифікатори сутностей, за рахунок цього скорочується кількість даних, що передаються від БД до програми, що їх оброблює. Знаючи унікальний ідентифікатор сутності, можливо отримати всю інформацію про сутність. Додаткові дані, які описують сутності, що використовуються, вибираються та передаються по запиту користувача.

Отримання даних з БД описується за допомогою операцій реляційної алгебри [154], де

$\sigma_F(R)$ – операція вибірки кортежів з відношення R , які відповідають

предикату F .

$\Pi_A(R)$ – операція проєкції по атрибутам A над відношенням R .

Наприклад, отримання даних про ЛЗ, до якої належить терм по його унікальному ідентифікатору описується такими операціями реляційної алгебри:

1. Отримати унікальний ідентифікатор ЛЗ

$$\Pi_{LinguisticVariableID}(\sigma_{TermID=@TermID}(Term));$$

2. Отримати дані про лінгвістичну змінну з ідентифікатором отриманим на попередньому кроці:

$$\Pi_{Name,Description}(\sigma_{LinguisticVariableID=@LinguisticVariableID}(LinguisticVariable))$$

Інші операції по отриманню даних, що описують сутності здійснюються аналогічно.

Побудова метаграфа для подання бази нечітких знань, яка зберігається в реляційній базі даних

Запропонована схема зберігання бази нечітких знань у реляційній БД дозволяє здійснювати вибір тільки необхідних складових БНЗ, що подаються метаграфом, для знаходження значення тільки необхідної ЛЗ.

Побудова метаграфа, що подає БНЗ, здійснюється шляхом вибору з БД необхідних правил, та складається з таких кроків:

1. Отримати всі терми лінгвістичної змінної, значення якої необхідно визначити. Реалізується операціями вибірки та проєкції виконаними над відношенням $Term$:

$$\Pi_{TermID}(\sigma_{LinguisticVariableID=@LinguisticVariableID}(Term)).$$

2. Для кожного отриманого на попередньому кроці терму:

2.1. Визначити всі правила, в яких заданий терм є результатом. Реалізується операціями вибірки та проєкції виконаними над відношенням $KnowledgeMatrix$:

$$\Pi_{FuzzyRuleID}(\sigma_{(TermID=@TermID)and(IsResultOfRule=true)}(KnowledgeMatrix)).$$

- 2.2. Якщо для терму таких правил не існує, то ступінь істинності цього терму отримується за рахунок операції фазифікації;
- 2.3. Пронумерувати терм та додати його до метаграфу за правилами визначеними у 2 розділі.
3. Для кожного отриманого на попередньому кроці правила:
 - 3.1. Визначити всі терми з його лівої частини. Реалізується операціями вибірки та проекції виконаними над відношенням KnowledgeMatrix:

$$P_{TermID}(\sigma_{(FuzzyRuleD=@ FuzzyRuleD)and(Is ResultOfRule=false)}(KnowledgeMatrix)).$$
 - 3.2. Сформуванати правило, додати до метаграфа всі необхідні складові та пронумерувати їх за правилами визначеними у 2 розділі.
 - 3.3. Перехід на п. 2.

Отримання даних з БД для побудови метаграфа, що подає БНЗ, можливо проводити рекурсивно або за рахунок використання такої структури даних, як черга. При рекурсивній процедурі процес побудови впорядкованого метаграфа закінчується коли на 2-му кроці всі терми виявилися такими, значення яких отримується за допомогою фазифікації, тоді не існує правил, які потрібно обробляти на 3-му кроці. При процедурі побудови метаграфа з використанням черги, черга використовується для зберігання термів, які необхідно обробити. Коли черга стає пустою, то дерево сформоване.

Перевагою такого процесу формування метаграфа є те, що одразу можливо сформуванати метаграф, який подає БНЗ для визначення тільки необхідної ЛЗ, та при цьому вводиться нумерація його вузлів.

У Додатку Б у вигляді псевдокоду наведено алгоритм побудови метаграфа, що подає БНЗ, яка зберігається в БД з використанням черги.

4.2. Інформаційна система для оцінки психофізичного стану людини для Національного антарктичного наукового центру України

Розглянемо особливості розроблення ІС. Структура ІС має визначатися

її функціональними можливостями та вимогами, які до неї поставлені.

До розроблюваної ІС, з точки зору клієнта, висувались такі вимоги:

- можливість роботи 4 типів користувачів: експерта, особи, що приймає рішення (ОПР), дослідника та користувача, який фіксує показники досліджуваного об'єкту;
- забезпечення різного рівня доступу до інформації;
- наявність інтуїтивно-зрозумілого інтерфейсу для всіх учасників системи.

Згідно висунутих вимог в ІС розроблені такі інтерфейси: інтерфейс користувача «експерт», інтерфейс користувача «ОПР», інтерфейс користувача «дослідник», інтерфейс користувача «досліджуваний об'єкт».

Інтуїтивно-зрозумілий інтерфейс забезпечується завдяки наданню графічного інтерфейсу з використанням метаграфів. Основний інтерфейс користувача «експерт» передбачає заповнення та редагування БНЗ. Також передбачений варіант використання у режимі оброблення інформації для оцінки стану СО з встановленням вхідних даних та видачею результатів роботи системи, на основі яких експерт має можливість покращити БНЗ. Інтерфейс користувача «ОПР» включає тільки варіант режиму оброблення інформації для оцінки стану СО, на основі результатів роботи якого приймаються фундаментальні рішення, наприклад про можливість продовження роботи з досліджуваним об'єктом за умов, що склалися, або про необхідність проведення заходів для покращення ситуації. Інтерфейс користувача «дослідник» призначений для науковців, які проводять дослідження в областях для яких створена ІС, на цьому рівні забезпечується найбільше обмеження доступу до конфіденційної інформації основної системи, та можливість формування інформації для власних досліджень. Інтерфейс користувача «досліджуваний об'єкт» абсолютно відрізняється від попередніх. У випадку дослідження людини він включає інструментарій для проходження психологічних тестів та внесення інших показників, а також, при необхідності, форми для отримання результатів оцінки стану, попереджень

згідно стану досліджуваного. У випадку дослідження продукції, що випускається, він включає інструментарій для внесення показників, які характеризують цю продукцію, або можливість отримання цих показників з інших джерел.

Інтерфейси «ОПР», «експерта» і «дослідника» пропонується реалізовувати як web-застосування. Це дозволить надавати доступ до системи з довільних пристроїв, які підключені до мережі, та не турбуватися про необхідність встановлення та налаштування спеціального програмного забезпечення на кожному пристрої ОПР, експерта або дослідника. При необхідності віддаленої роботи цих користувачів при відсутності мережі і доступу до центрального компонента, функціональність для їхньої роботи може бути реалізована по аналогії з застосуванням оцінки стану СО.

Структурна схема ІС оцінки психофізичного стану людини для Національного антарктичного наукового центру України, яка створена для оцінки стану зимівників на українській антарктичній станції «Академік Вернадський», наведена на рис. 4.5. Вона розроблена з урахуванням висунутих вище вимог та запропонованих рішень. Зв'язок між досліджуваними (зимівниками) та іншими користувачами здійснюється по супутниковому каналу.

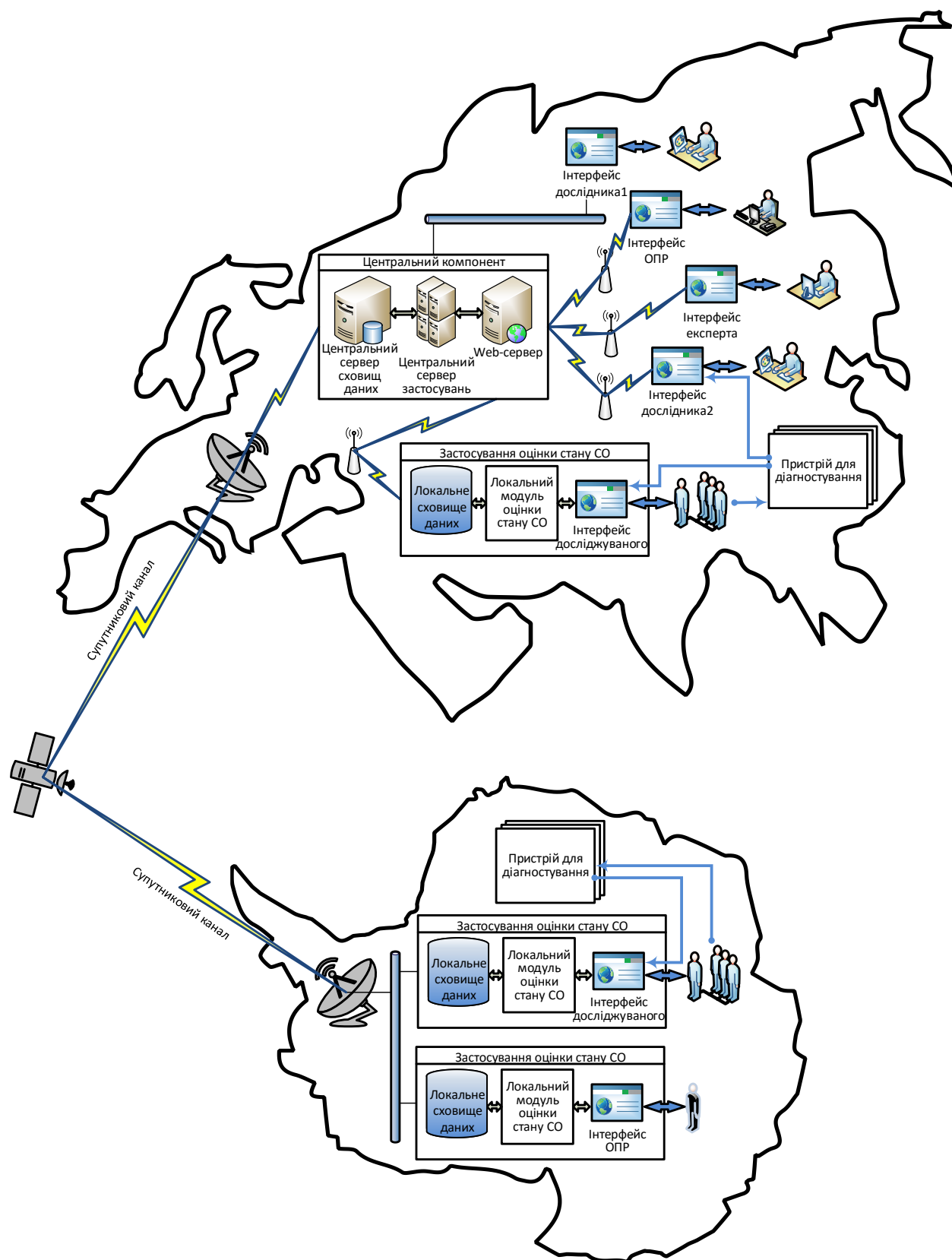


Рис. 4.5 Структурна схема ІС оцінки психофізичного стану людини для
Національного антарктичного наукового центру України

Особливості програмної реалізації ІС

Розглянемо детально технології використані для реалізації ІС згідно до розглянутої архітектури ІТСВ БНЗ (рис. 4.6).

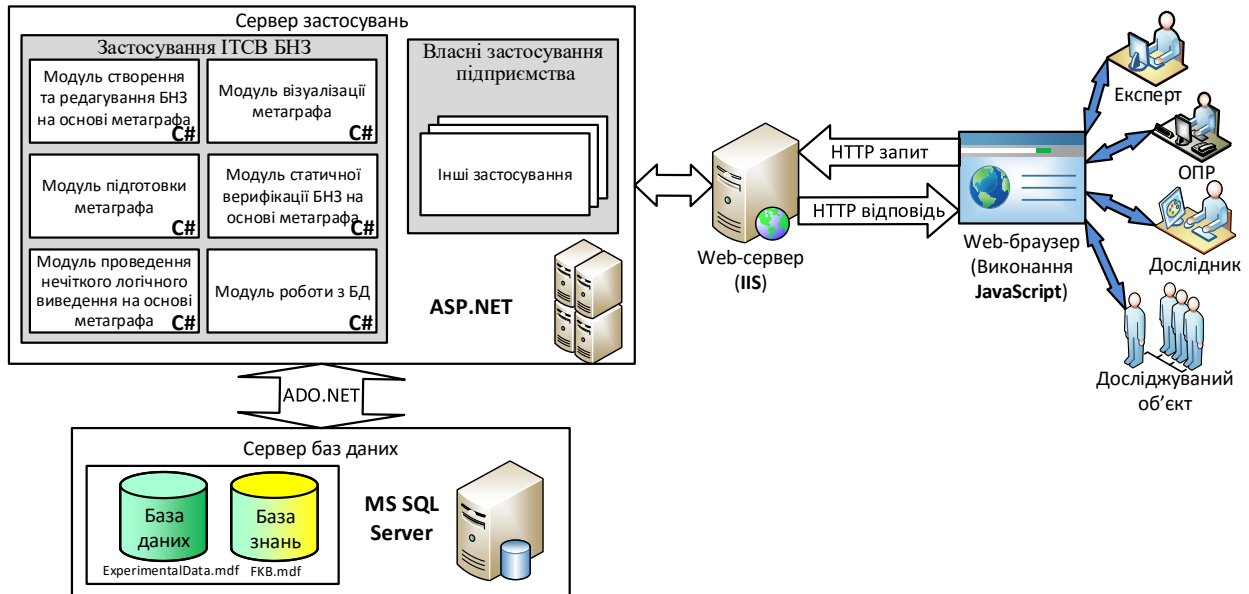


Рис. 4.6 Архітектура ІС

Для реалізації застосувань була обрана мова програмування C#. Реалізація web-застосувань здійснювалась з використанням технологій ASP.NET, HTML5, JavaScript, Ajax. Для доступу до БД використовувалась ADO.NET. Як web-сервер використовується Internet Information Services (IIS). Доступ до web-застосувань здійснюється по протоколу http.

Для управління центральним сервером сховищ даних обраний Microsoft SQL Server. У сховищі даних зберігаються всі дані, БНЗ, а також сформовані звіти. Схема даних для збереження даних, що описують СО, визначається потребами та термінами предметної області. БНЗ зберігаються у відповідності з розглянутою схемою. Microsoft SQL Server має безкоштовну версію Express, яка має обмеження, але її достатньо для використання в невеликих організаціях та підприємствах. При необхідності для керування центральним сервером сховищ даних може використовуватися довільна СКБД, яка має механізми забезпечення цілісності даних та підтримує SQL-запити.

При використанні локального сховища даних, зібрані дані зберігаються

у форматі JSON, що дозволяє використовувати мінімальний об'єм пам'яті для їх зберігання. Такий компактний формат зберігання також в подальшому дозволяє скоротити мережний трафік. Ще однією перевагою зберігання в такому форматі є те, що на використовуваному пристрої не потрібно встановлювати та налаштовувати серверів БД.

Обрані технології дозволяють використовувати розроблені рішення підключаючи їх до існуючих інформаційних систем організацій та підприємств. Наприклад, в Національному антарктичному науковому центрі України ІС реалізовано з застосуванням технології MS Sharepoint Server 2010. В цьому випадку інструментальні засоби ІТСВ БНЗ реалізуються та підключаються до порталу у вигляді web-частин.

Функціональна структура інформаційної системи для оцінки стану складного об'єкту

В розробленій інформаційній системі передбачені 3 режими роботи:

1. Режим роботи з БНЗ.
2. Режим наповнення даними.
3. Режим оброблення інформації для оцінки стану СО.

Режим роботи з БНЗ призначений для створення, аналізу та редагування БНЗ. До цього режиму роботи мають доступ експерт та дослідник. Модифікація БНЗ може здійснюватися за допомогою спеціально розробленої форми, а також при роботі з наочним поданням у вигляді метаграфа, що запропонований в даній роботі.

Режим наповнення даними призначений для фіксації значень показників досліджуваного СО та внесення їх у БД. В цьому режимі або сам досліджуваний вносить свої дані, або дослідник може вносити дані багатьох досліджуваних СО.

Режим оброблення інформації для оцінки стану СО – основний режим роботи ІС, призначений для розрахунку та видачі результатів оброблення інформації з БД на основі БНЗ.

Використання режиму оброблення інформації для оцінки стану СО користувачем «дослідник» дозволяє здійснювати перевірку адекватності розробленої експертом нечіткої моделі за рахунок тестування на великих об'ємах даних. В результаті можуть бути отримані нові положення в предметних областях для яких розроблена ІС.

Для опису призначення, визначення функціональності та поведінки на рис. 4.7, в нотації UML [158, 159], наведено діаграму варіантів використання (use case diagram) розробленої ІС.

За допомогою діаграм активності (activity diagrams) в UML-нотації на рис. 4.8 описано життєвий цикл ІС, який починається з наповнення даними і закінчується видачою результату оцінки стану СО. На рис. 4.9, рис. 4.10 за допомогою діаграм активності деталізовані дії експерта та ОПР при роботі з ІС.

Діаграми наведені для випадку коли як досліджуваний СО розглядається людина.

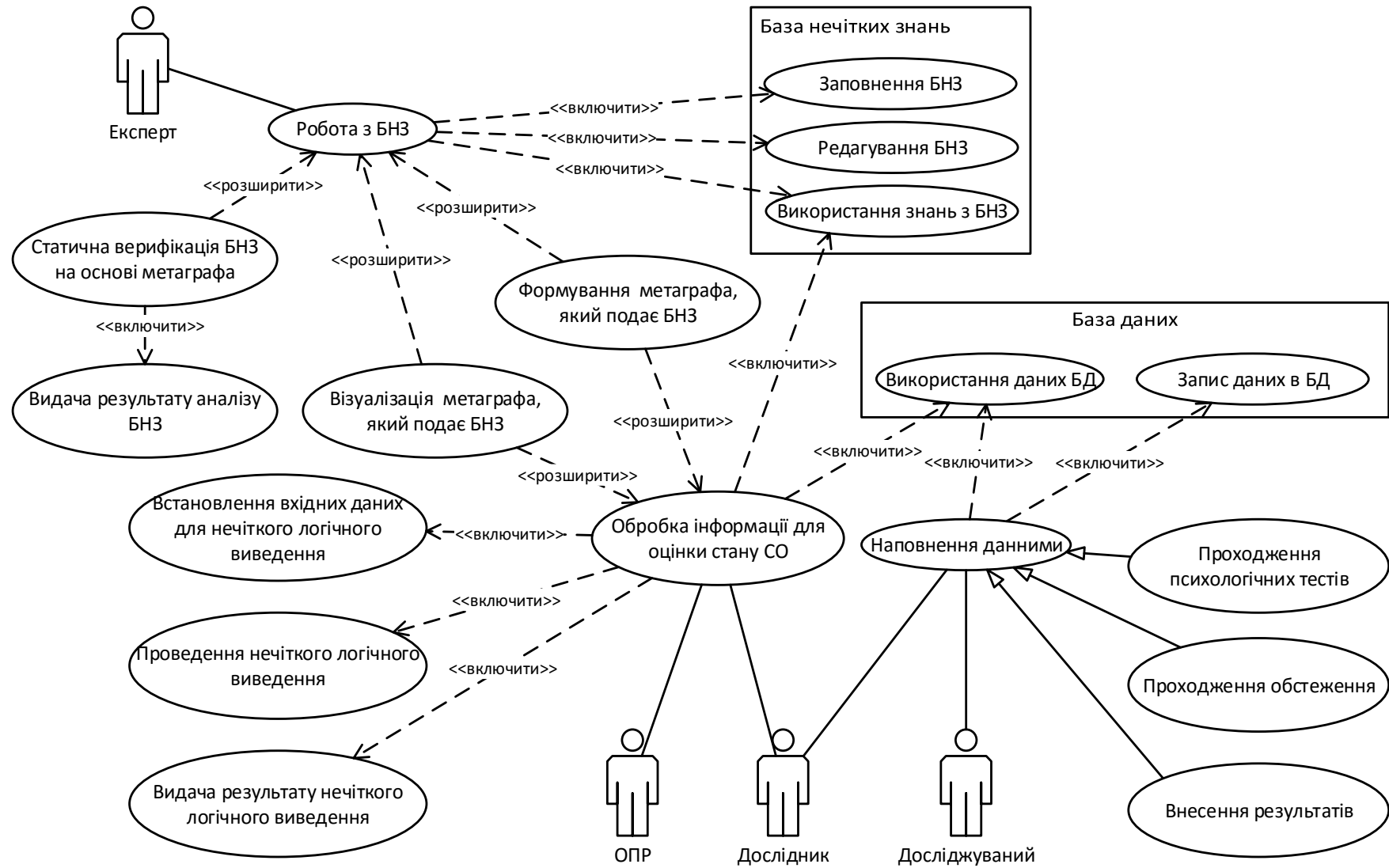


Рис. 4.7 Діаграма варіантів використання ІС в нотації UML

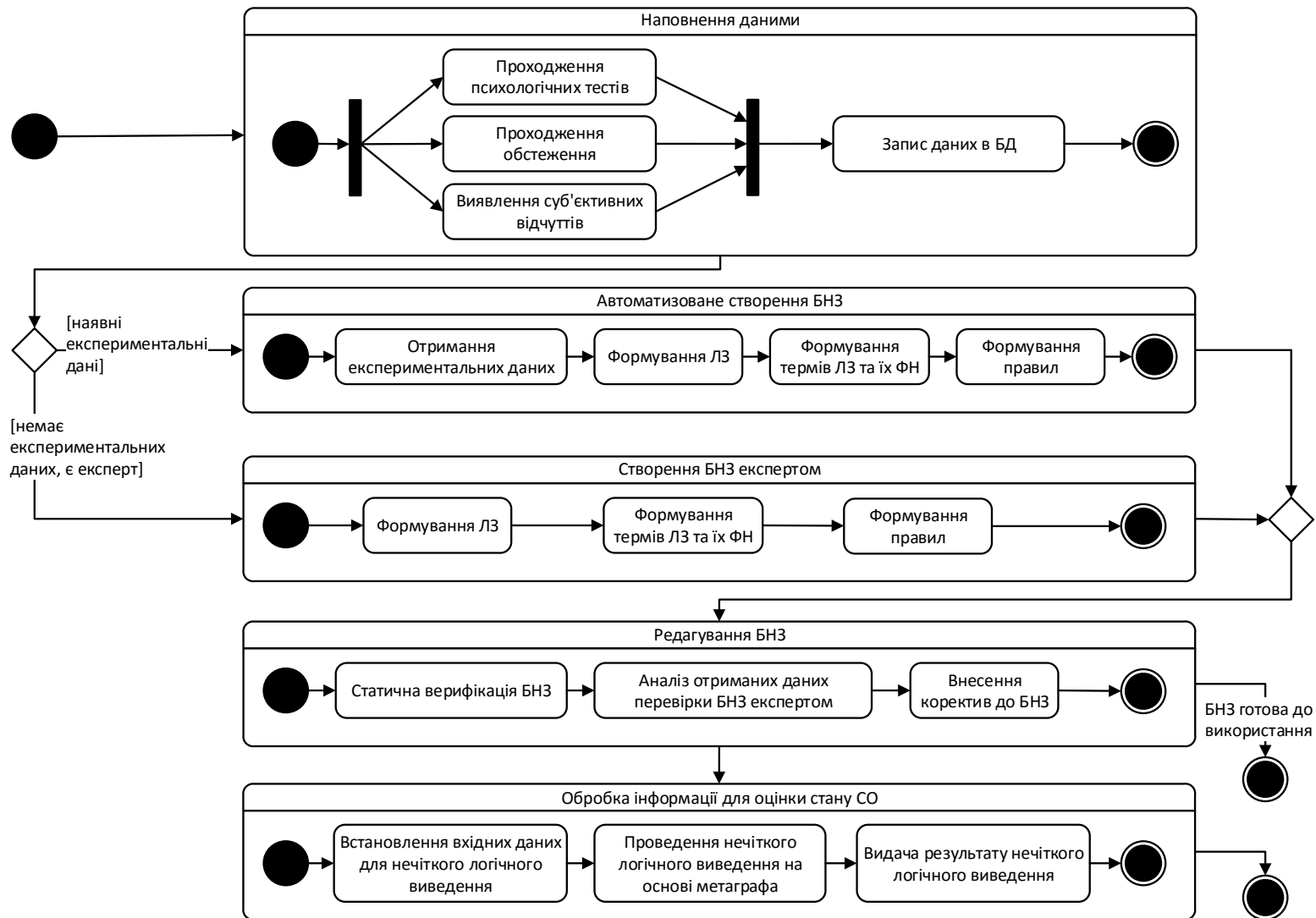


Рис. 4.8 Діаграма активності режимів роботи з ІС

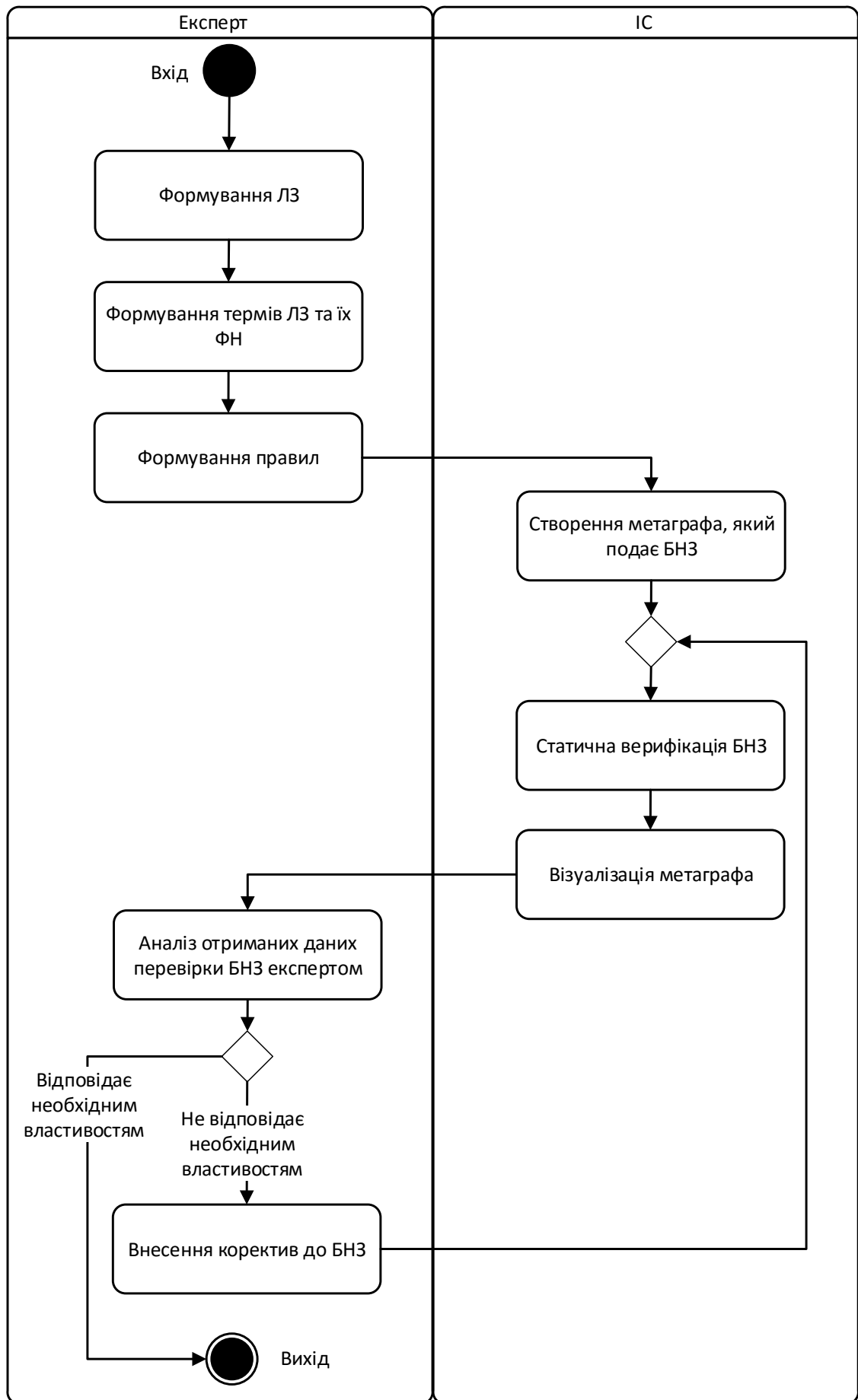


Рис. 4.9 Діаграма активності режиму роботи з БНЗ

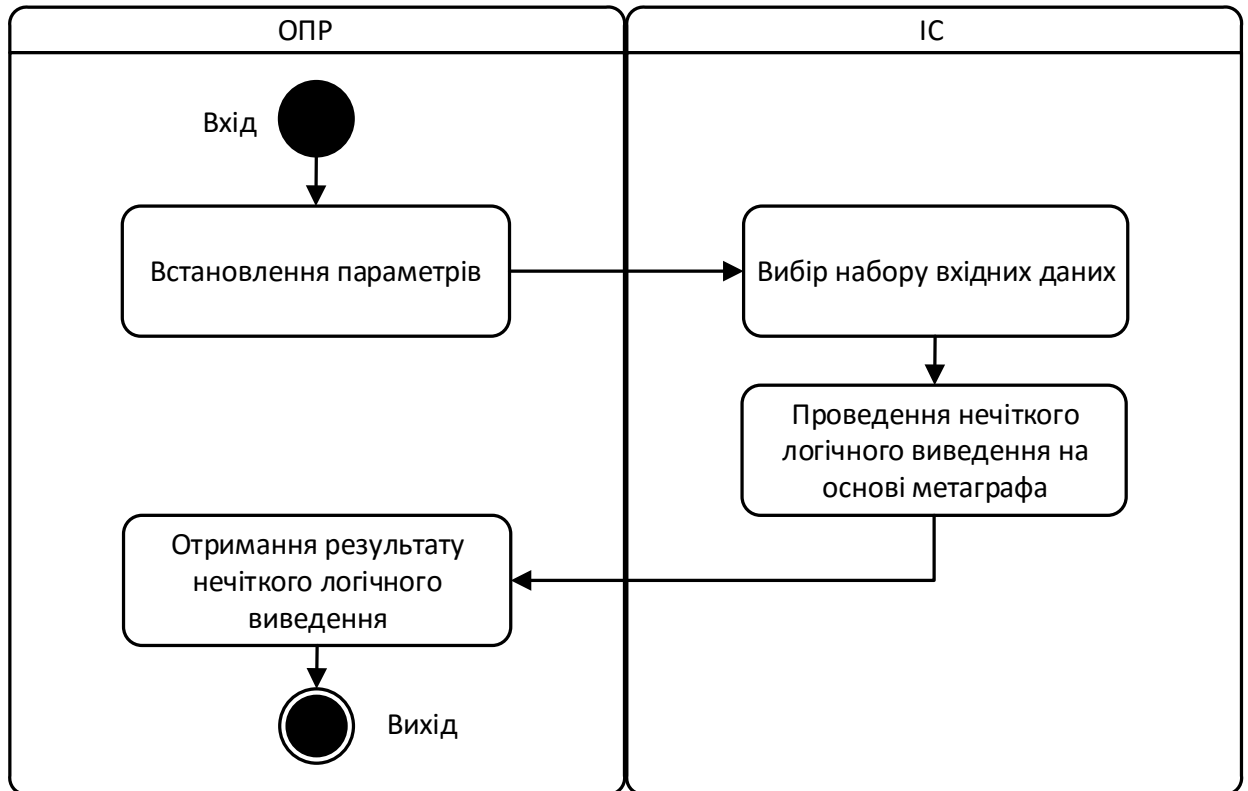


Рис. 4.10 Діаграма активності режиму оброблення інформації для оцінки стану СО

4.3. Дослідження ефективності інформаційної технології створення та використання баз нечітких знань із застосуванням метаграфів

В рамках ІТСВ БНЗ був розроблений КІЗ створення та використання БНЗ для оброблення інформації з оцінки стану складного об'єкту, програмні модулі якого функціонують у розробленій ІС. Також були створені відповідні БНЗ та БД, які були впроваджені в Національному антарктичному науковому центрі України [160], Національній медичній академії післядипломної освіти П. Л. Шупика та Національному центрі «Мала академія наук України». Впровадження показало, що час формування БНЗ скорочується в 2,1 рази, час редагування БНЗ – в 3 рази, час аналізу на відповідність властивостям – в 5 разів (рис. 4.11, табл. 4.2), за рахунок наявності зручних засобів для візуалізації БНЗ, це дозволило значно скоротити час виконання типових

завдань експертами.

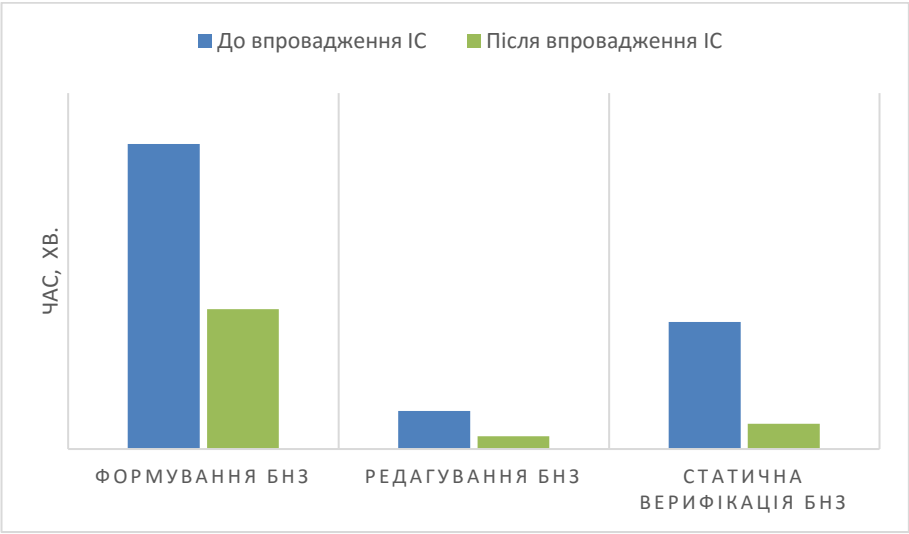


Рис. 4.11 Етапи створення та редагування БНЗ

Таблиця 4.2

Зменшення основних показників при роботі з БНЗ

<div>Зменшення (разів)</div> <div>Предметна область</div>	Час формування БНЗ	Час редагування БНЗ	Час аналізу БНЗ на відповідність властивостям
Оцінка стану людини	1,8 – 2,1	2,5 – 3	3,8 – 5
Оцінка стану продукції	1,5 – 1,9	2,3 – 2,9	2,9 – 4,7

Використання ІТСВ БНЗ при проведенні оцінки стану СО дозволило мінімізувати залучення експертів та скоротити час виконання типових завдань ОПР та дослідниками на 30% (рис. 4.12) за рахунок автоматизації фіксації результатів спостережень, одночасному записі отриманих даних в БД, та формуванню звітів з результатами оцінки стану на їх основі. Це дало змогу приймати більш обґрунтовані рішення та отримувати нові результати при проведенні досліджень.

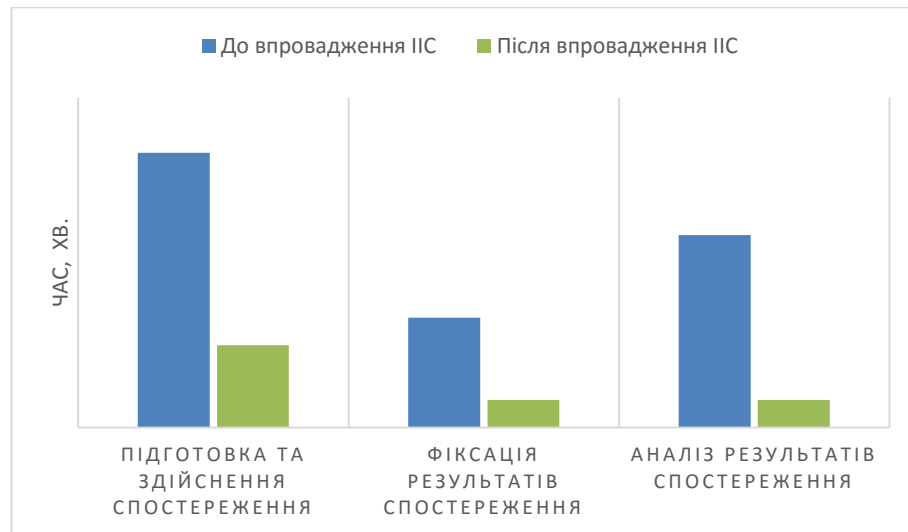


Рис. 4.12 Етапи проведення оцінки стану СО

Впровадження у зазначених установах підтверджується відповідними актами впровадження наведеними в Додатку В.

4.4. Досвід практичного використання інформаційної технології створення та використання баз нечітких знань із застосуванням метаграфів

Оцінка психофізіологічного стану людини

Розглянемо приклад оцінки психофізіологічного стану зимівників на українській антарктичній станції «Академік Вернадський».

Якщо розглядати психофізіологічні показники відокремленого один від одного, то для діагностування того, що показник вийшов за норми, лікарю достатньо звірити поточні результати з загальноприйнятими або особистими показниками в нормальному стані людини. Однак при аналізі всіх показників в цілому необхідно оперувати достатньо великою кількістю показників одночасно. А у випадку психологічних тестів, навіть, не можливо встановити конкретні еталонні показники нормального стану людини.

Стан людини має оцінюватись не тільки згідно з показниками організму, які фіксуються, а й з урахуванням зовнішніх факторів, тобто середовища, в якому вона перебуває. На рис. 4.13 продемонстровані показники, які використовуються для моніторингу та подальшої оцінки стану людини та їх взаємозалежність.

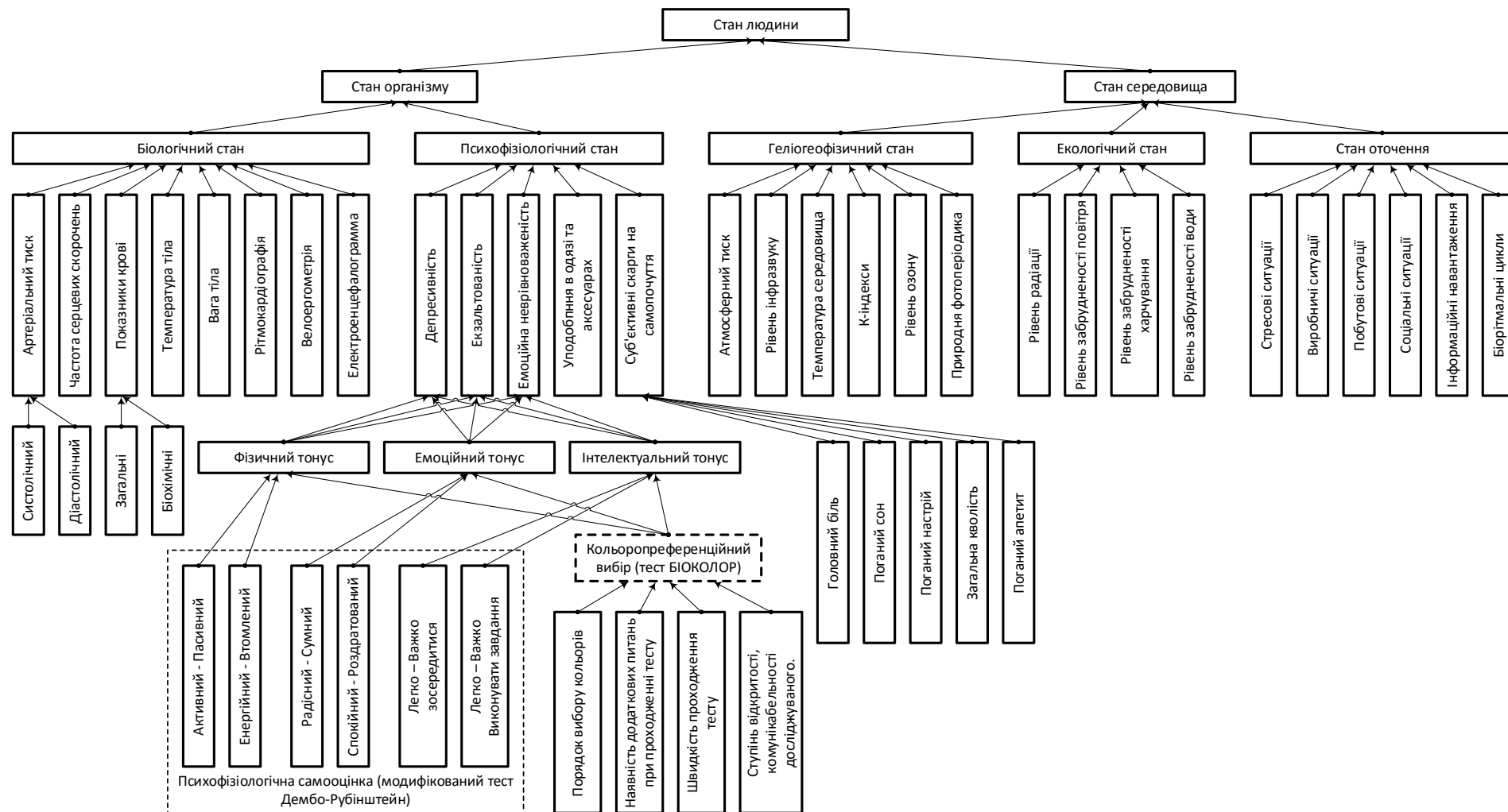


Рис. 4.13 Структура інформації про стан людини

На основі наведених показників та знань експертів було розроблено БНЗ, яку позначимо $БНЗ_{АЦ}$. До розробленої $БНЗ_{АЦ}$ входить 59 ЛЗ, та 328 правил. Для демонстрації було виділено частину $БНЗ_{АЦ}$, яка містить 14 ЛЗ, та 28 правил в яких вони фігурують. Опис взаємозалежностей лінгвістичних змінних та їх терми, які входять до виділеної частини $БНЗ_{АЦ}$ наведено у табл. 4.3 та на рис. 4.14.

Таблиця 4.3

Лінгвістичні змінні та їх терми в $БНЗ_{АЦ}$

ЛЗ	Назва ЛЗ	Терми
X_1	Стан людини	$T_1 = \{\text{поганий, нормальний, хороший}\}$
X_2	Стан організму	$T_2 = \{\text{поганий, нормальний, хороший}\}$
X_3	Артеріальний тиск	$T_3 = \{\text{знижений, нормальний, підвищений}\}$
X_4	Температура тіла	$T_4 = \{\text{знижена, нормальна, підвищена}\}$
X_5	Психофізичний стан	$T_5 = \{\text{поганий, нормальний, хороший}\}$
X_6	Фізичний тонус	$T_6 = \{\text{знижений, нормальний, підвищений}\}$
X_7	Емоційний тонус	$T_7 = \{\text{знижений, нормальний, підвищений}\}$
X_8	Інтелектуальний тонус	$T_8 = \{\text{знижений, нормальний, підвищений}\}$
X_9	Преференція кольорів червоної зони	$T_9 = \{\text{висока, середня, низька}\}$
X_{10}	Преференція кольорів синьої зони	$T_{10} = \{\text{висока, середня, низька}\}$
X_{11}	Преференція кольорів жовто-зеленої зони	$T_{11} = \{\text{висока, середня, низька}\}$
X_{12}	Стан середовища	$T_{12} = \{\text{поганий, нормальний, хороший}\}$
X_{13}	Забрудненість води	$T_{13} = \{\text{висока, середня, низька}\}$
X_{14}	Забрудненість повітря	$T_{14} = \{\text{висока, середня, низька}\}$

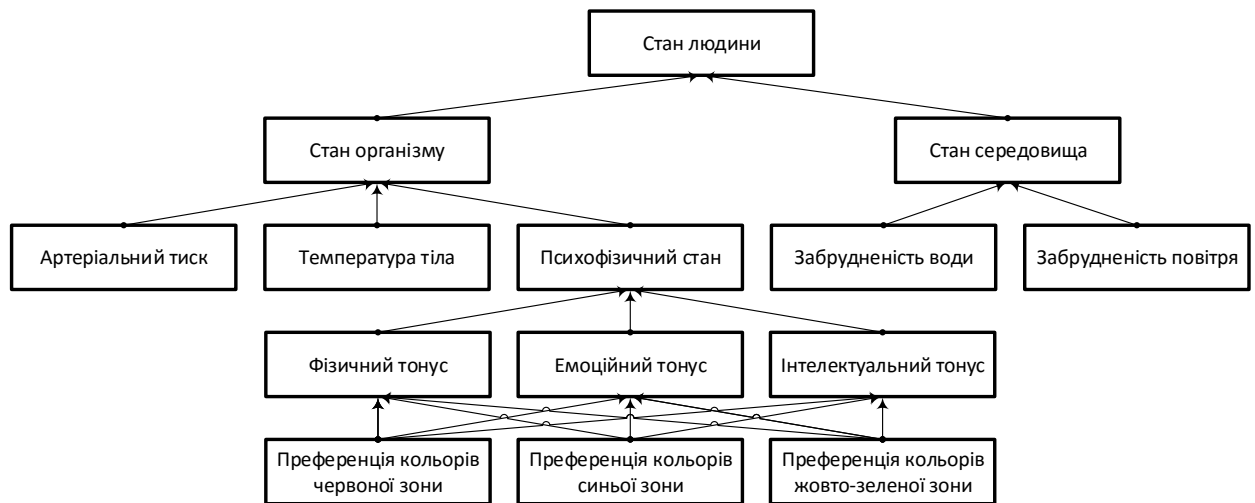


Рис. 4.14 Частина структури інформації про стан людини

Наведемо приклади правил, які входять, до виділеної частини розробленої $БНЗ_{AC}$:

ЯКЩО Стан середовища = хороший ТА Стан організму = нормальний АБО Стан середовища = нормальний ТА Стан організму = нормальний АБО Стан середовища = поганий ТА Стан організму = хороший ТО Стан людини = нормальний

ЯКЩО Стан середовища = хороший ТА Стан організму = хороший ТО Стан людини = хороший

...

ЯКЩО Артеріальний тиск = нормальний ТА Температура тіла = нормальна ТА

Психофізичний стан = нормальний ТО Стан організму = нормальний

ЯКЩО Артеріальний тиск = підвищений ТА Температура тіла = нормальна ТА

Психофізичний стан = поганий АБО Артеріальний тиск = нормальний ТА Температура тіла = знижена ТА Психофізичний стан = поганий ТО Стан організму = поганий

...

ЯКЩО Забрудненість води = низька ТА Забрудненість повітря = низька АБО

Забрудненість води = низька ТА Забрудненість повітря = середня ТО Стан середовища = хороший

ЯКЩО Забрудненість води = висока ТА Забрудненість повітря = висока АБО

Забрудненість води = середня ТА Забрудненість повітря = висока ТО Стан середовища = поганий

ЯКЩО Забрудненість води = середня ТА Забрудненість повітря = низька ТО Стан середовища = нормальний

...

ЯКЩО Фізичний тонус = підвищений ТА Інтелектуальний тонус = знижений ТА

Емоційний тонус = знижений ТО Психофізичний стан = поганий

ЯКЩО Фізичний тонус = нормальний ТА Інтелектуальний тонус = нормальний ТА

Емоційний тонус = нормальний АБО Фізичний тонус = підвищений ТА Інтелектуальний тонус = нормальний ТА Емоційний тонус = підвищений ТО Психофізичний стан = хороший

...

ЯКЩО Преференція кольорів червоної зони = висока ТА Преференція кольорів жовто-зеленої зони = середня ТА Преференція кольорів синьої зони = низька ТО

Інтелектуальний тонус = знижений

ЯКЩО Преференція кольорів червоної зони = низька ТА Преференція кольорів жовто-

зеленої зони = середня ТА Преференція кольорів синьої зони = висока ТО

Інтелектуальний тонус = підвищений

ЯКЩО Преференція кольорів червоної зони = низька ТА Преференція кольорів жовто-зеленої зони = середня ТА Преференція кольорів синьої зони = висока ТО Фізичний тонус = знижений

ЯКЩО Преференція кольорів червоної зони = низька ТА Преференція кольорів жовто-зеленої зони = середня ТА Преференція кольорів синьої зони = висока ТО Емоційний тонус = нормальний

...

Графічне представлення частини метаграфа, який подає $БНЗ_{АЦ}$, розроблену для оцінки психофізіологічного стану зимівників наведено на рис. 4.15.

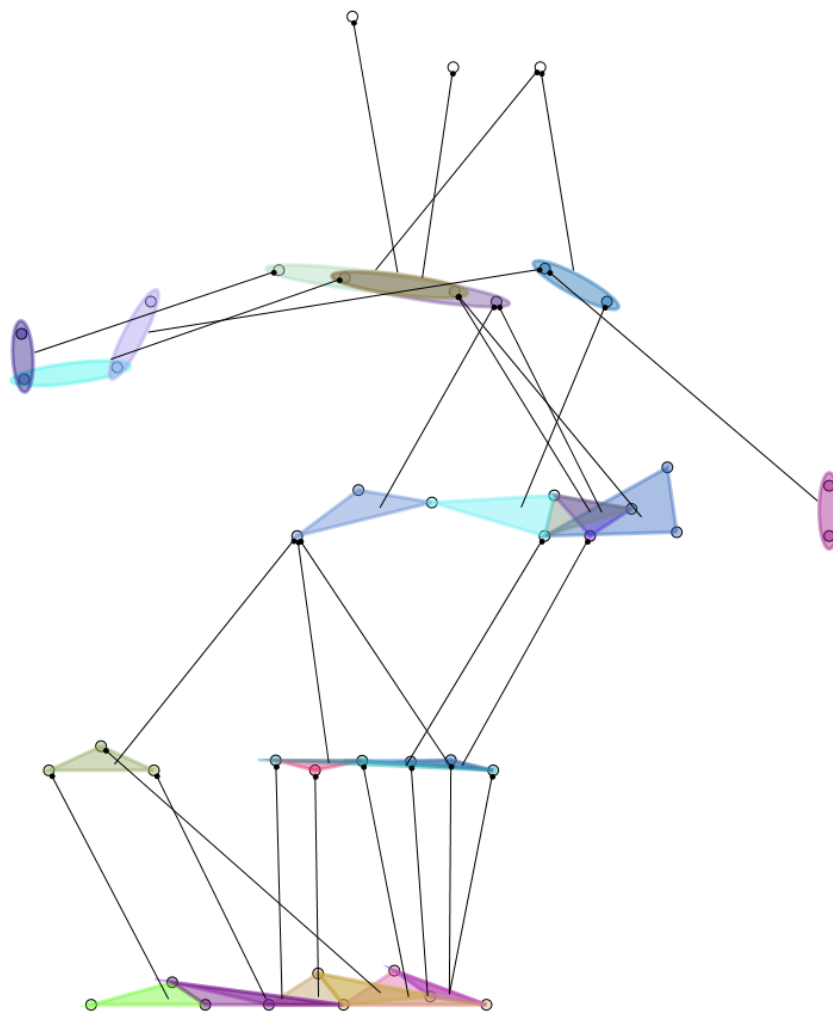


Рис. 4.15 Частина метаграфа, який подає $БНЗ_{АЦ}$, розроблену для оцінки психофізіологічного стану зимівників

Наведений метаграф містить 42 вершини та 27 метавершин. Формування графічного зображення цього метаграфа при початковому псевдовипадковому розташуванні вузлів було отримано за 5000 ітерацій та зайняло менше

секунди.

Оцінка якості продукції

По аналогії з оцінкою стану людини розглянемо частину створеної $БНЗ_{МП}$ для оцінки якості молочної продукції, а саме йогурту. Опис лінгвістичних змінних та їх термів наданий у табл. 4.4., а структура інформації про стан йогурту на рис. 4.16.

Таблиця 4.4

Лінгвістичні змінні та їх терми в $БНЗ_{МП}$

ЛЗ	Назва ЛЗ	Терми
X_1	Якість йогурту	$T_1 = \{\text{низька, нормальна, висока}\}$
X_2	Якість молока	$T_2 = \{\text{низька, нормальна, висока}\}$
X_3	Стан екології	$T_3 = \{\text{поганий, нормальний, хороший}\}$
X_4	Стан повітря	$T_4 = \{\text{поганий, нормальний, хороший}\}$
X_5	Стан ґрунту	$T_5 = \{\text{поганий, нормальний, хороший}\}$
X_6	Рівень виробництва	$T_6 = \{\text{поганий, нормальний, хороший}\}$
X_7	Якість води	$T_7 = \{\text{низька, нормальна, висока}\}$
X_8	Вміст бактерій	$T_8 = \{\text{низький, нормальний, високий}\}$

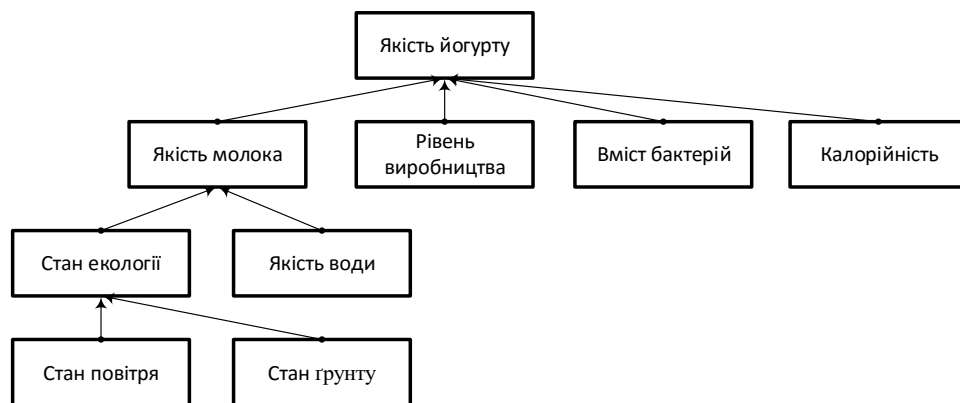


Рис. 4.16 Частина структури інформації про стан йогурту

Наведемо приклади правил, які входять, до розробленої $БНЗ_{МП}$, з оцінки якості йогурту:

ЯКЩО Якість молока = висока ТА Якість води = висока ТА Рівень виробництва = нормальний ТА Вміст бактерій = нормальний АБО Якість молока = нормальна ТА Якість води = нормальна ТА Рівень виробництва = високий ТА Вміст бактерій = нормальний ТО Якість йогурту = висока
 ЯКЩО Якість молока = низька ТА Якість води = нормальна ТА Рівень виробництва = нормальний ТА Вміст бактерій = низький АБО Якість молока = нормальна ТА Якість води =

= низька ТА Рівень виробництва = низький ТА Вміст бактерій = нормальний ТО Якість йогурту = низька

...

ЯКЩО Стан екології = нормальний ТА Якість води = нормальна АБО Стан екології = хороший ТА Якість води = нормальна ТО Якість молока = нормальна

ЯКЩО Стан екології = поганий ТА Якість води = нормальна ТО Якість молока = погана

Графічне представлення частини метаграфа, який подає $БНЗ_{МП}$, розроблену для оцінки якості йогурту наведено на рис. 4.17.

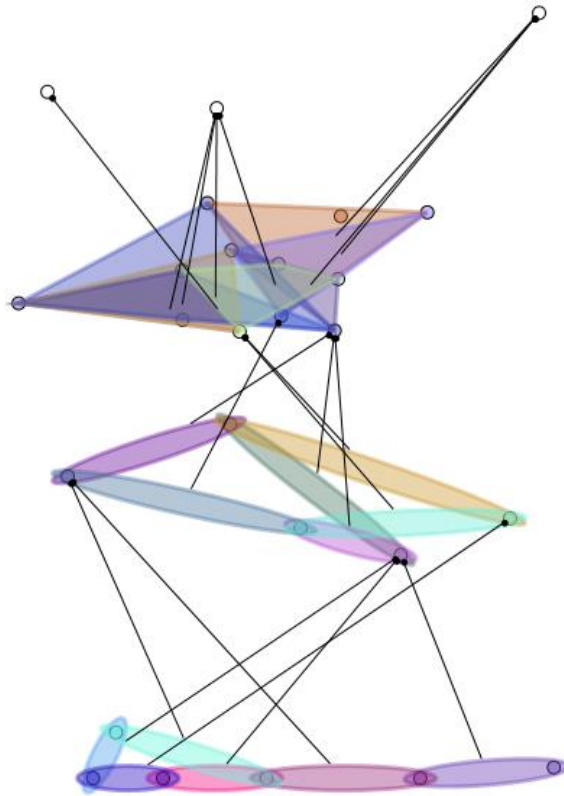


Рис. 4.17 Частина метаграфа, який подає $БНЗ_{МП}$, розроблену для оцінки стану йогурту

Наведений метаграф містить 27 вершин та 20 метавершин та дуг. Формування графічного зображення цього метаграфа при початковому псевдовипадковому розташуванні вузлів було отримано за 3000 ітерацій та зайняло менше секунди.

З наведених прикладів видно, що використовуючи запропоновані методи можливо автоматично отримувати графічне зображення метаграфа, який подає БНЗ. Використовуючи отримане зображення можна наочно аналізувати БНЗ, прослідковувати залежності між ЛЗ та виявляти аномалії.

Висновки

1. Розроблено інформаційну технологію створення та використання баз нечітких знань із застосуванням метаграфів, особливістю якої є наявність комплексу інструментальних засобів створення та використання БНЗ для оброблення інформації з оцінки стану складного об'єкту, який включає модулі створення, редагування, статичної верифікації БНЗ та нечіткого-логічного виведення на основі метаграфа, модулі підготовки та візуалізації метаграфа, модуль роботи з базами даних.

2. Для практичного впровадження розробленої інформаційної технології реалізовано інформаційну систему, наведено структуру і принципи її функціонування, описані режими роботи та особливості реалізації, наведено діаграму варіантів використання.

3. Наведено основні практичні результати застосування розробленої інформаційної технології на прикладах оцінки психофізіологічного стану людини та якості йогурту, з яких видно наочну структуру БНЗ, поданих метаграфами, сформованих для цих задач.

4. Використання запропонованої моделі, методів та алгоритмів дозволило скоротити час формування БНЗ в 1,5 – 2,1 рази, час редагування БНЗ в 2,3 – 3 рази, час аналізу на відповідність властивостям в 2,9 – 5 разів.

5. На основі удосконаленої нечіткої моделі, запропонованих методів та алгоритмів були розроблені програмні модулі оброблення інформації, які входять до комплексу інструментальних засобів та функціонують у розробленій інформаційній системі, побудовані відповідні БНЗ та бази даних, які були впроваджені в Національному антарктичному науковому центрі України, Національній медичній академії післядипломної освіти П. Л. Шупика та Національному центрі «Мала академія наук України». Використання розробленої інформаційної технології дозволило скоротити час виконання типових завдань ОПР та дослідниками на 30%, за рахунок чого оперативно оцінювати стан складних об'єктів, що підтверджується актами впровадження наведеними в Додатку В.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

Дисертаційна робота становить собою закінчене наукове дослідження, присвячене розв'язанню актуальної науково-практичної задачі підвищення ефективності оброблення інформації в інтелектуальних системах на основі БНЗ з використанням метаграфів.

1. На основі аналізу особливостей оцінювання стану СО на підприємствах та організаціях, де виникає потреба в оперуванні кількісною і якісною інформацією, запропонований і реалізований підхід до створення та використання БНЗ із застосуванням метаграфів.

2. Удосконалено нечітку логічну модель, яка побудована для оброблення інформації, за рахунок подання ієрархічної БНЗ у вигляді метаграфа, та введення обмежень на структуру метаграфа, впорядкування його вузлів для визначення порядку застосування правил та нечіткого логічного виведення на основі частини метаграфа, виділеної для оцінювання шуканої ЛЗ, що дозволило скоротити час оброблення інформації в інтелектуальних системах з ієрархічними БНЗ.

3. Запропоновано метод статичної верифікації БНЗ, поданої у вигляді метаграфа, що надає можливість перевірити БНЗ на відповідність властивостям ненадлишковості, лінгвістичної несуперечливості, лінгвістичної повноти, відсутності зациклювання, використовуючи структуру метаграфа ще до початку проведення нечіткого логічного виведення, за рахунок чого позбавитись аномалій.

4. Запропоновано метод візуалізації метаграфів, який надає можливість роботи з БНЗ у графічному вигляді, що спрощує формування нових БНЗ, та перевірку існуючих на відповідність властивостям за рахунок застосування графічного подання, на якому можливо наочно виявляти залежності та аномалії. Запропонований метод застосовний для довільних метаграфів.

5. На основі удосконаленої нечіткої моделі, запропонованих методів та алгоритмів розроблено інформаційну технологію створення та використання БНЗ із застосуванням метаграфів, яка надає можливість статичної верифікації

БНЗ та можливість роботи з ними в графічному режимі, що дозволило скоротити час їх формування, аналізу та редагування в 1,5 – 5 разів.

6. Впровадження розробленої інформаційної технології в Національному антарктичному науковому центрі України, Національній медичній академії післядипломної освіти П. Л. Шупика та Національному центрі «Мала академія наук України» дозволило суттєво підвищити прозорість подання та оброблення інформації, скоротити час її оброблення та виконання типових завдань ОПР та дослідниками на 30%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Alan R. Simon "Data Warehousing And Business Intelligence For e-Commerce". 2010. – 320 p.
2. Steve Williams "The Profit Impact of Business Intelligence". 2010. – 240 p.
3. Что такое Business Intelligence? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sites.google.com/site/upravlenieznaniami/tehnologii-upravlenia-znaniami/bi-tehnologii> – Електрон. тестові дані (дата доступу 27.12.2015).
4. Колесов А. Рынок платформ бизнес-аналитики [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.bytemag.ru/articles/detail.php?ID=11919> – Електрон. тестові дані (дата доступу 27.12.2015).
5. Negash S. Business Intelligence // Communications of the Association for Information Systems. 2004. V. 13. – pp. 177 – 195.
6. Формула успеха CRM: бизнес-аналитика + CRM система = лучшее понимание бизнеса [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.integros.com.ua/presscenter/detail.php?ID=510#.VpRR951INuy> – Електрон. тестові дані (дата доступу 27.12.2015).
7. Инструменты бизнес-анализа для бизнес-аналитика [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://iiba.ru/analysis-tools-for-the-business-analyst/#_8212-5 – Електрон. тестові дані (дата доступу 27.12.2015).
8. Gartner IT Glossary > Enterprise Resource Planning (ERP) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://blogs.gartner.com/it-glossary/enterprise-resource-planning-erp/> – Електрон. тестові дані (дата доступу 27.12.2015).
9. ERP (Enterprise Resource Planning) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.belerp.com/modules.php?name=Encyclopedia&op=content&tid=2078> – Електрон. тестові дані (дата доступу 27.12.2015).
10. Gartner IT Glossary > Customer Relationship Management (CRM) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://blogs.gartner.com/it-glossary/customer-relationship-management-crm/> – Електрон. тестові дані (дата доступу 27.12.2015).

11. CRM система [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://crm.ua/> – Электрон. тестові дані (дата доступу 27.12.2015).

12. Инструменты бизнес-анализа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://kurs.geum.ru/instrumenty_biznes-analiza.htm – Электрон. тестові дані (дата доступу 28.12.2015).

13. Системы бизнес-анализа (BI) в России 2014 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tadviser.ru/index.php/BI> – Электрон. тестові дані (дата доступу 28.12.2015).

14. Типовые блоки современных BI-систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Типовые_блоки_современных_BI-систем – Электрон. тестові дані (дата доступу 28.12.2015).

15. Top Business Intelligence Tools [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.predictiveanalyticstoday.com/top-business-intelligence-tools/> – Электрон. тестові дані (дата доступу 29.12.2015).

16. Артемьев В. Классификация продуктов business intelligence [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Классификация_продуктов_business_intelligence – Электрон. тестові дані (дата доступу 29.12.2015).

17. Что такое Business Intelligence? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.osp.ru/os/2003/04/182900/> – Электрон. тестові дані (дата доступу 29.12.2015).

18. Аналитический CRM: с чего начинать? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.interface.ru/home.asp?artId=5981> – Электрон. тестові дані (дата доступу 28.12.2015).

19. CRM-системы (типы) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:CRM-системы_%28типы%29 – Электрон. тестові дані (дата доступу 28.12.2015).

20. CRM: операционный или аналитический? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pcweek.ru/idea/article/detail.php?ID=82039> –

Електрон. тестові дані (дата доступу 29.12.2015).

21. Интегрированная аналитика. Как извлечь максимальную выгоду из ERP-систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://citforum.ru/database/articles/erp-system/> – Електрон. тестові дані (дата доступу 29.12.2015).

22. Глоба Л. С. Інтеграція баз даних та баз знань на основі онтології / Л. С. Глоба, М. Ю. Терновой, О. С. Штогріна // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ „КПІ”, № 1, 2011. – С. 43 – 47.

23. Глоба Л. С. Использование онтологий для интеграции баз данных и баз знаний / Л. С. Глоба, М. Ю. Терновой, Е. С. Штогріна // XI международная научная конференция имени Т. А. Таран «Интеллектуальный анализ информации (ИАИ – 2011)», 17 – 20 мая 2011, Киев. – К.: Просвіта, 2011. – С. 34 – 38.

24. Терновой М. Ю. Построение отображения между реляционными базами данных и онтологиями / М. Ю. Терновой, Е. С. Штогріна, А. О. Татариков // XII международная научная конференция имени Т. А. Таран «Интеллектуальный анализ информации (ИАИ – 2012)», 16 – 18 мая 2012, Киев. – К.: Просвіта, 2012. – С. 141 – 147.

25. Глоба Л. С. Технологія обробки інформації в гетерогенному інформаційно-телекомунікаційному середовищі / Л. С. Глоба, М. Ю. Терновой, О. С. Штогріна // Електроніка та зв'язок. Тематичний випуск «Проблеми електроніки», ч. 1, 2008. – С. 204 – 207.

26. Глоба Л. С. Створення баз нечітких знань для інтелектуальних систем управління / Л. С. Глоба, М. Ю. Терновой, О. С. Штогріна // Комп'ютинг – Міжнародний науково-технічний журнал. – том 7, випуск 1. – Тернопіль, «Економічна думка», 2008. – С. 70 – 79.

27. Терновой М. Ю. Подход к обработке информации в информационно-телекоммуникационной среде систем административного управления / М. Ю. Терновой, Е. С. Штогріна // Материалы 19-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии

(CriMiCo – 2009)», 14 – 18 сентября 2009, Севастополь. – Севастополь: Вебер, 2009. – С. 358 – 359.

28. Представление нечетких знаний [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://itteach.ru/predstavlenie-znaniy/predstavlenie-nechetkich-znaniy/vse-stranitsi> – Электрон. тестові дані (дата доступу 25.08.2015).

29. Болдырев М. Решение задач с применением нечеткой логики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.tora-centre.ru/library/fuzzy/fuzi_i.htm – Электрон. тестові дані (дата доступу 17.04.2014).

30. Туккель И. Л. Методы и инструменты управления инновационным развитием промышленных предприятий / И. Л. Туккель, С. А. Голубев, А. В. Сурина, Н. А. Цветкова // СПб.: БХВ-Петербург, 2013. 208 с.

31. Згуровский М.З. Исследование социальных процессов на основе методологии системного анализа / М.З. Згуровский, А.В. Доброногов, Т. Н. Померанцева. // К.: Наукова думка, 1997.– 224 с.

32. Згуровский М. З. Системный анализ. Проблемы, методология, приложение / М. З. Згуровский, Н. Д. Панкратова. // К: Наук. думка, 2005. – 744 с.

33. Павлов А. А. Основы системного анализа и проектирования АСУ: Учеб. пособие / А. А. Павлов, С. Н. Гриша, В. Н. Томашевский. и др.; Под ред. А. А. Павлова // К.: Вища школа, 1991. – 367 с.

34. Павлов А. А. Информационные технологии и алгоритмизация в управлении / А. А. Павлов, С. Ф. Теленик. // К.: Техніка, 2002. – 344 с.

35. Макаров И. М. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления / И. М. Макаров, В. М. Лохин, С. В. Манько, М. П. Романов // М.: Наука, 2006. – 336 с.

36. Гаврилова Т. А. Базы Знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский // Спб.: Питер, 2001. – 384 с.

37. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. А. Заде // М: Мир, 1976. – 165 с.

38. Беллман Р. Принятие решений в расплывчатых условиях / Р. Беллман, Л. А. Заде // В кн.: Вопросы анализа и процедуры принятия решений. – М.: Мир, 1976. – С. 172 – 215.
39. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн // Винница: УНИВЕРСУМ, 1999. – 320 с.
40. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба // М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
41. Зайченко Ю. П. Основи проектування інтелектуальних систем / Ю. П. Зайченко // Навчальний посібник. – К.: «Слово», 2004. – 352 с.
42. Саати Т. Аналитическое планирование. Организация систем / Т. Саати, К. Керне // М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
43. Saaty T. L. Multicriteria Decision Making. The Analytic Hierarchy Process / T. L. Saaty // New York: McGraw Hill International, 1990. – 437 p.
44. Amit Basu, Robert W. Blanning. Metagraphs and their applications. Springer. 2007. – 172 p.
45. Леонков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леонков // СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
46. Штовба С. Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/17.php> – Електрон. тестові дані (дата доступу 25.08.2015).
47. Митюшкин Ю. И. Soft Computing: идентификация закономерностей нечеткими базами знаний / Ю. И. Митюшкин, Б. И. Мокин, А. П. Ротштейн // Винница: УНИВЕРСУМ, 2002. – 145 с.
48. Штовба С. Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/18.php> – Електрон. тестові дані (дата доступу 25.08.2015).
49. Nauck D., Kruse R. How the Learning of Rule Weights Affects the

Interpretability of Fuzzy Systems // In Proc. IEEE International Conference on Fuzzy Systems 1998 (FUZZ-IEEE'98), Anchorage, AK, May 4-9. 1998. – pp. 1235 – 1240.

50. Нечеткие и лингвистические переменные [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dit.isuct.ru/ivt/books/IS/Model/gl43.htm> – Электрон. тестові дані (дата доступу 25.08.2015).

51. Miller G.A. The Magic Number Seven Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information // Psychological Review. 1956. No. 63. – pp. 81 – 97.

52. Перегудов Ф.И. Введение в системный анализ / Ф. И. Перегудов В. П. Тарасенко // М.: Высш. шк., 1989. – 367 с.

53. Штовба С. Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/1_7_5_6.php – Электрон. тестові дані (дата доступу 25.08.2015).

54. Robert T. Plant, 1995, Tools for Validation & Verification of Knowledge-Based Systems 1985 – 1995 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://inf.abdn.ac.uk/~apreece/Research/vvtools.html> – Электрон. тестові дані (дата доступу 12.05.2014).

55. Spreeuwenberg S., Gerrits R. Requirements for Successful Verification in Practice // Proceedings of the FLAIRS02. 2002. – pp. 221 – 225.

56. Vanthienen J., Mues C., Goedertier S. Experiences with Modeling and Verification of Regulations // In Proceedings of the CAiSE'06 Workshop on Regulations Modeling and their Validation & Verification (REMO2V'06). 2006. – pp. 793 – 799.

57. Preece A.D., Shinghal R. Foundation and Application of Knowledge Base Verification // International Journal of Intelligent Systems. 1994. Vol. 9. pp. 683–701.

58. Nguyen T. A., Perkins W. A., Laffey T. J., Pecora D. Knowledge base

verification // AI Magazine. 1987. Vol. 8, No. 2. – pp. 69 – 75.

59. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат // М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2-е изд., 2013. – 798 с.: ил.

60. Сергиенко М. А. Методы анализа и структуризации базы нечетких правил. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики. Воронеж, 2010.

61. Сергиенко М. А. Методы проектирования нечеткой базы знаний / М. А. Сергиенко // Вестник ВГУ, серия: Системный анализ и информационные технологии, № 2, 2008. – С. 67 – 71.

62. Пospelова Л. Я., Чуканова О.В. Поиск противоречий в продукционных базах знаний [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://library.mephi.ru/data/scientific-sessions/2009/t5/0-5-1.doc> – Електрон. тестові дані (дата доступу 7.04.2014)

63. Пospelова Л. Я. Метод поиска противоречий в нечеткой базе знаний. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ekhneu.org.ua/content/metod-poiska-protivorechiy-v-nechetkoy-baze-znaniy> – Електрон. тестові дані (дата доступу 19.01.2015).

64. Пospelова Л. Я. Оценка степени непротиворечивости системы нечетких правил / Л. Я. Пospelова // БізнесІнформ №12, 2013. – С. 124 – 129.

65. Кривуля Г. Ф. Оптимизация продукционных правил в диагностической экспертной системе /Г. Ф. Кривуля, И. В. Власов, О. А. Павлов // Тезисы тринадцатой международной научно-технической конференции «Проблемы информатики и моделирования», НТУ "ХПИ", Харьков-Ялта, 2013. – С. 5 – 7.

66. Carmona P., Castro J.L., Zurita J.M. Contradiction Sensitive Fuzzy Model-Based Adaptive Control – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.101.9361&rep=rep1&type=pdf> – Електрон. тестові дані (дата доступу 19.01.2015).

67. Поморова О. В. Виявлення суперечливості правил в нечітких базах

знань інтелектуальних систем технічного діагностування / О. В. Поморова, Є. Г. Гнатчук // Радіоелектронні і комп'ютерні системи, № 7 (41), 2009. – С. 171 – 176.

68. Поморова О. В. Метод виявлення суперечностей у базах знань систем технічного діагностування / О. В. Поморова, А. Ф. Крищук // Хмельницький: ХНУ. Вісник Хмельницького національного університету, №.3, 2010. – С. 257 – 260.

69. Пивкин В. Я., Бакулин Е. П., Кореньков Д. И. Нечеткие множества в системах управления – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ref.rushkolnik.ru/v46863/?page=7> – Електрон. тестові дані (дата доступу 19.01.2015).

70. El-Korany A., Shaalan K., Baraka H., Rafea A. An Approach for Automating the verification of KADS-based Expert Systems // New review of applied expert systems. 1998. Vol. 4. – pp. 107 – 124.

71. Arman N. Fault Detection in Dynamic Rule Bases Using Spanning Trees and Disjoint Sets // The International Arab Journal of Information Technology. 2007. Vol.4, No.1. – pp.67 – 72.

72. G. Valiente Feruglio Knowledge Base Verification using Algebraic Graph Transformations [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.55.2760&rep=rep1&type=pdf> – Електрон. тестові дані (дата доступу 27.02.2015).

73. Mues C., Vanthienen J. Efficient Rule Base Verification using Binary Decision Diagrams // Database and Expert Systems Applications Lecture Notes in Computer Science. 2004. V. 3180. – pp. 445 – 454.

74. Strehl K., Moraga C., Karl-Heinz Temme, Stancovi R. Fuzzy Decision Diagrams for the Representation, Analysis, and Optimization of Rule Bases // Research Report No. 77 Department of Computer Science, University of Dortmund. 1999. – 20 p.

75. Saud M. A. Maghrabi Matrix Verification of Knowledge-Based System //

JKAU: Sci. 2001. Vol. 13. – pp. 63 – 82.

76. Обідін Д. М. Метод верифікації баз знань системи автоматичного управління за допомогою матричних операцій / Д. М. Обідін // Системи обробки інформації, випуск 3 (101), т. 2, 2012. – С. 85 – 89.

77. Simiński R., Wakulicz-Deja A. Circularity in Rule Knowledge Bases Detection using Decision Unit Approach // Monitoring, Security, and Rescue Techniques in Multiagent Systems Advances in Soft Computing. 2005. Vol. 28. – pp. 273 – 279.

78. Глоба Л. С. Технологія обробки інформації в гетерогенному інформаційно-телекомунікаційному середовищі / Л. С. Глоба, М. Ю. Терновой, О. С. Штогріна // Электроника и связь. Тематический выпуск «Проблемы электроники», ч. 1, 2008. – С. 204 – 207.

79. Терновой М. Ю. Представлення баз нечітких знань за допомогою метаграфа та проведення нечіткого логічного виведення на його основі / М. Ю. Терновой, О. С. Штогріна // Вісник Харк. нац. ун-ту., Сер. «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління», 2014, № 1105. – С. 156 – 165.

80. Zheng-Hua Tan. Fuzzy Metagraph and Its Combination with the Indexing Approach in Rule-Based Systems // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. 2006. Vol. 18, No. 6. – pp. 829 – 841.

81. Munakata T. Notes on implementing fuzzy sets in Prolog // Fuzzy Sets and System. 1998. Vol. 3. – pp. 311 – 317.

82. Vaucheret C., Guadarrama S., Munoz C., Fuzzy prolog: a simple general implementation using clp(r) // Logic for Programming, Artificial Intelligence, and Reasoning, LPAR 2002, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 2514, Tbilisi, Georgia, October 2002, Springer, Berlin. – pp. 450 – 463.

83. Guadarrama S., Munoz S., Vaucheret C. Fuzzy Prolog: A new approach using soft constraints propagation // Fuzzy Sets and Systems. 2004. Vol.144, no.1. – pp.127 – 150.

84. Martin T. P., Baldwin J. F, Pilsworth B. W. The Implementation of FProlog – A Fuzzy Prolog Interpreter // Fuzzy Sets and Systems. 1985. Vol. 23. pp. 119 – 129.
85. Касьянов В. Н. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение / В. Н. Касьянов, В. А. Евстигнеев // СПб.. БХВ-Петербург, 2003. – 1104 с.
86. Оре О. Графы и их применение / О. Оре // М.: МИР, 1965.– 174 с.
87. Уилсон Р. Введение в теорию графов / Р. Уилсон //М.: МИР, 1977. – 208 с.
88. Ловас Л. Прикладные задачи теории графов. Теория паросочетаний в математике, физике, химии / Л. Ловас, М. Пламмер // М.: Мир, 1998. – 653 с.
89. Харари Ф. Теория графов / М.: МИР, 1973. – 301 с.
90. Емеличев В. А. Лекции по теории графов / В. А.Емеличев, О. И. Мельников, В. И. Сарванов, Р. И. Тышкевич // М.: Наука, 1990. – 384 с.
91. Андерсон Д. Дискретная математика и комбинаторика / Д. Андерсон // М.: Вильямс, 2004. – 960 с.
92. Глоба Л. С. Технологія обробки інформації в гетерогенному інформаційно-телекомунікаційному середовищі / Л. С. Глоба, М. Ю. Терновой, О. С. Штогріна // Електроніка і зв'язь. Тематический випуск «Проблеми електроніки», ч. 1, 2008. – С. 204 – 207.
93. Глоба Л. С., Голышев Л. К., Терновой М. Ю. Концептуальное проектирование информационно-аналитических систем для сложных административных структур стратегического уровня управления: Научная монография – К.:ГП «Информационно-аналитическое агенство», 2009. – 340 с.
94. Глоба Л.С. Оптимизация использования базы знаний экспертной системы введением иерархии правил / Л.С. Глоба , М.Ю. Терновой. // Труды 7-й международной научно-практической конференции "Современные информационные и электронные технологии" (СИЭТ-2006). – Одеса: ОНПУ, 2006. – С. 166.

95. Ternovoy M. Modified Fuzzy Intelligence System / M. Ternovoy. // Proceedings of the International Conference TCSET'2006. Lviv-Slavsko, 2006. – pp. 420 – 422.
96. Терновой М. Ю. Представлення бази нечітких знань у вигляді класичної логічної бази знань / М. Ю. Терновой. // Труды 8-й Междунар.науч.-практ. конф "Современные информационные и электронные технологии" (СИЭТ 2007). Одеса:ОНПУ, 2007. – С. 156.
97. Andersen H. R. An Introduction to Binary Decision Diagrams [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.cmi.ac.in/~madhavan/courses/verification-2011/andersen-bdd.pdf> – Електрон. тестові дані (дата доступу 27.02.2015).
98. И-ИЛИ графы [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://doc.unicor.ru/tt/126.html> – Електрон. тестові дані (дата доступу 27.02.2015).
99. Братко И. Программирование на языке Пролог для искусственного интеллекта / И. Братко // М.: Мир, 1990. – 560 с.
100. Братко И. Алгоритмы искусственного интеллекта на языке PROLOG / И. Братко // М.: Вильямс, 2004. – 640 с.
101. Люгер Д. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем 4-е издание / Д. Ф. Люгер // М.: Вильямс, 2003. – 864 с.
102. Нильсон Н. Искусственный интеллект / Н. Нильсон// М.: Мир, 1973. – С. 91 – 128.
103. Tang Yonglong Fuzzy knowledge searching on the basis of the traditional and-or graph search algorithm // Computer Modelling and New Technologies. 2015. 19(2A). – pp. 7 – 12.
104. Dubois D., Prade H. Inference in possibilistic hypergraphs // Uncertainty in Knowledge Bases: 3rd International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems, IPMU'90, Paris. 1990. – pp. 250 – 259.

105. Parvathi R., Thilagavathi S., Karunambigai M. G. Intuitionistic fuzzy hypergraphs // Cybernetics and Information Technologies, Sofia. 2009. 9(2). – pp. 46 – 53.
106. Craine W.L., Fuzzy Hypergraphs and Fuzzy Intersection Graphs, PhD Thesis, University of Idaho, 1993. – 100 p.
107. Akram M., Dudek W. A. Intuitionistic fuzzy hypergraphs with applications // Information Sciences. 2013. V. 218. – pp. 182 – 193.
108. Samanta S., Pal M. Bipolar fuzzy hypergraphs // International Journal of Fuzzy Logic Systems. 2012. 2(1). – pp. 17 – 28.
109. Grossman O., Harel D. On the Algorithmics of Higraphs. Technical Report, Rehovot, Israel. – 1997. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.53.2832&rep=rep1&type=pdf> – Електрон. тестові дані (дата доступу 10.03.2014).
110. Гиперграф [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ngpedia.ru/id643068p1.html> – Електрон. тестові дані (дата доступу 27.02.2015).
111. Зыков А. А. Гиперграфы / А. А. Зыков // Успехи математических наук, № 6, 1974. – 180 с.
112. Самохвалов Э. Н. Использование метаграфов для описания семантики и прагматики информационных систем / Э. Н. Самохвалов, Г. И. Ревунков, Ю. Е. Гапанюк // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Приборостроение”, № 1, 2015. – С. 83 – 99.
113. Астанин С. В. Вложенные метаграфы как модели сложных объектов / С. В. Астанин, Н. В. Драгныш, Н. К. Жуковская // Инженерный вестник Дона, № 4-2 (23), 2012. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1434> – Електрон. тестові дані (дата доступу 10.03.2014).
114. Peter Eades, Xuemin Lin Spring algorithms and symmetry // Theoretical Computer Science. 2000. Vol. 240. – pp. 379 – 405.

115. Hachul S., Junger M. Drawing Large Graphs with a Potential-Field-Based Multilevel Algorithm (Extended Abstract) // Lecture Notes in Computer Science. Springer-Verlag. 2005. V. 3383. – pp. 285 – 295.
116. Archambault D., Munzner T., Auber D. TopoLayout: Multilevel Graph Layout by Topological Features // Visualization and Computer Graphics. IEEE Transactions. 2007. V. 13. N 2. – pp. 305 – 317.
117. Harel D., Koren Y. A Fast Multi-scale Method for Drawing Large Graphs // J. Marks, editor, Lecture Notes in Computer Science. Springer-Verlag. 2000. V. 1984. – pp. 183 – 196.
118. Ruoming Jin, Yang Xiang, Fuhry D., Dragan F.F. Overlapping Matrix Pattern Visualization: A Hypergraph Approach // Data Mining, 2008. ICDM'08. Eighth IEEE International Conference. 2008. – pp. 313 – 322.
119. Jesse Paquette, Taku Tokuyasu Hypergraph visualization and enrichment statistics: how the EGAN para-digm facilitates organic discovery from big data // Proc. SPIE 7865, Human Vision and Electronic Imaging XVI. 2011. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://akt.ucsf.edu/EGAN/docs/PSI78650E.pdf> – Електрон. тестові дані (дата доступу 10.03.2014).
120. Eades P. A heuristic for graph drawing // Congressus Numerantium. 1984. N 42. – pp. 149 – 160.
121. Fruchterman T.M.J., Reingold E.M. Graph Drawing by Force-Directed Placement // Software-Practice and Experience. 1991. V. 21. N 11. – pp. 1129 – 1164.
122. Barnes J., Hut P. A hierarchical $O(N \log N)$ force-calculation algorithm // Nature. December 1986. V. 324. N 4. – pp. 446 – 449.
123. Kamada T., Kawai S. An algorithm for drawing general undirected graphs // Information Processing Letters. 1989. V. 31. – pp. 7 – 15.
124. Frick A. Ludwig A., Mehldau H. A Fast Adaptive Layout Algorithm for Undirected Graphs // Springer-Verlag. 1995. Vol. 894. – pp. 388 – 403.
125. Sugiyama K. A., Misue K. Simple and Unified Method for Drawing Graphs: Magnetic-Spring Algorithm // Springer-Verlag. 1995. Vol. 894. –

pp. 364 – 375.

126. Noack A. Energy models for graph clustering // Graph Algorithms and Applications Appl. 2007. Vol. 11, No.2. – pp. 453 – 480.

127. Hadany R., D. Harel A multi-scale algorithm for drawing graphs nicely // LNCS, Springer. 1999. Vol. 1665. – pp. 262 – 277.

128. Gajer P., Kobourov S. GRIP: Graph Drawing with Intelligent Placement // LNCS, Springer. – 2001. – Vol. 1984. – pp. 222 – 228.

129. Walshaw C. A Multilevel Algorithm for Force-Directed Graph Drawing // LNCS, Springer. – 2001. – Vol. 1984. – pp. 171 – 182.

130. Kratochvíl J., Tuza Z. On the complexity of bicoloring clique hypergraphs of graphs // Journal of Algorithms. 2002. V. 45. – pp. 40 – 54.

131. Agnarsson G. Halldórsson M. M. Strong Colorings of Hypergraphs // Approximation and Online Algorithms, Springer. 2005. Vol. 3351. – pp. 253 – 266.

132. Alon N., Kelsen P., Mahajan S, Hariharan R. Approximate hypergraph coloring // Nordic Journal of Computing. 1996. 3(4). – pp. 425 – 439.

133. Branderburg F. J., Himsolt M., Rohrer C. En Experimental Comparsion of Force-Directed and Randomized Graph Drawing Algorithms // Computational Geometry 7. 1997. Vol. 7. – pp. 303 – 325.

134. Hachul S., Jünger M. An Experimental Comparison of Fast Algorithms for Drawing General Large Graphs // LNCS, Springer. 2006. Vol. 3843. – pp. 235 – 250.

135. Терновой М. Ю. Представлення баз нечітких знань за допомогою метаграфа та проведення нечіткого логічного виведення на його основі / М. Ю. Терновой, О. С. Штогріна // Вісник Харківського національного університету, серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління», № 1105, 2014. – С. 156 – 165.

136. Глоба Л. С. Метаграфы как основа для представления и использования баз нечетких знаний / Л. С. Глоба, М. Ю. Терновой, Е. С. Штогрин // Материалы V Международной научно-технической конференции «Open

Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS – 2015)», 19 – 21 февраля 2015, Минск. – Минск: БГУИР, 2015. – С. 237 – 240.

137. Терновой М. Ю. Формальная спецификация аномалий в базах нечетких знаний Мамдани на основе метаграфа / М. Ю. Терновой, Е. С. Штогринина // Вісник Харківського національного університету, Сер. «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління», вип. 27, 2015. – С. 157 – 171.

138. Терновой М. Ю. Візуальний аналіз аномалій баз нечітких знань представлених метаграфом / М. Ю. Терновой, О. С. Штогринина // Матеріали 9-ї Науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій (ПТ – 2015)», 21 – 24 квітня 2015, Київ. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – С. 264 – 266.

139. Штогринина Е. С. Метод визуализации метаграфа / Е. С. Штогринина, А. С. Кривенко // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики Санкт-Петербургского национального исследовательского Университета ИТМО, №3 (91), 2014. – С. 126 – 132.

140. Globa L. Based on force-directed algorithms method for metagraph visualization / L. Globa, M. Ternovoy, O. Shtogrina, O. Kryvenko // Soft Computing in Computer and Information Science The series "Advances in Intelligent and Soft Computing" (ACS), Springer, Vol. 342, 2015. – pp. 359 – 369.

141. Штогринина Е. С. О визуализации метаграфов / Е. С. Штогринина, А. С. Кривенко // Материалы 8-й Научно-технической конференции «Проблемы телекоммуникаций (ПТ – 2014)», 22 – 25 апреля 2014, Киев. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – С. 264 – 266.

142. Globa L. Based on force-directed algorithms method for metagraph visualization / L. Globa, M. Ternovoy, O. Shtogrina, O. Kryvenko, // «19th International Conference on Advanced Computer Systems (ACS – 2014)», October 22 – 24, 2014, Międzyzdroje, Poland.

143. Кормен Т. Алгоритмы. Построение и анализ. 2-е изд. / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн // М.: Вильямс, 2005. – С. 1296.

144. Роджерс Д., Математические основы машинной графики / Д. Роджерс,

Дж. Адамс // М.: Мир, 2001. – 604 с.

145. Holten D. Hierarchical Edge Bundles: Visualization of Adjacency Relations in Hierarchical Data // Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions. 2006. V. 12. N 5. pp. 741 – 748.

146. Бабурин Д. Е. Иерархический подход для автоматического размещения ациклических графов / Д. Е. Бабурин // Современные проблемы конструирования программ. – С. 7 – 37. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.iis.nsk.su/files/articles/sbor_kas_09_baburin.pdf – Электрон. тестові дані (дата доступу 20.09.2015).

147. Терновой М. Ю. Метод разделения на уровни метаграфа, представляющего базу нечетких знаний / Терновой М. Ю., Е. С. Штогрин, И. В. Куринной // Материалы 23-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии (CriMiCo – 2013)», 8 – 14 сентября 2013, Севастополь. – Севастополь: Вебер, 2013. – С. 360 – 361.

148. Штогрин Е. С. Визуализация иерархических метаграфов / Е. С. Штогрин, А. С. Кривенко // Материалы 9-й Научно-технической конференции «Проблемы телекоммуникаций (ПТ – 2015)», 21 – 24 апреля 2015, Киев. – К.: НТУУ «КПИ», 2015. – С. 327 – 329.

149. Пескова О. В. О визуализации информации / О. В. Пескова // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Приборостроение”. 2012. – С. 158 – 173.

150. Shneiderman B. The eyes have it: A task by data type taxonomy for information visualizations // Proc. IEEE Symp. on Visual Languages. 1996. – pp. 336 – 343.

151. Терновой М. Ю. Подход к созданию и использованию древовидной базы нечетких знаний / М. Ю. Терновой, Е. С. Штогрин // Материалы 12-й Международной научно-технической конференции «Системный анализ и информационные технологии (САИТ – 2010)», 25 – 29 мая 2010, Киев. – К: УНК «ИПСА» НТУУ «КПИ», 2010. – С. 495.

152. Глоба Л. С. Подход к хранению баз нечетких знаний / Л. С. Глоба, М. Ю. Терновой, Е. С. Штогрин // Материалы II Международной научно-

технической конференции «Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS – 2012)», 16 – 18 февраля 2012, Минск. – Минск: БГУИР, 2012. – С. 99 – 102.

153. Терновой М. Ю. Метод збереження та використання баз нечітких знань / М. Ю. Терновой, О. С. Штогріна // Електроніка і зв'язь, № 6(71), 2012. – С. 116 – 122.

154. Коннолли Т. Базы данных: проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика 3-е изд./ Т. Коннолли, К. Бегг // М.: Вильямс, 2003. – 1440 с.

155. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных, 8-е издание / К. Дж. Дейт // К.: Вильямс, 2008. – 1328 с.

156. Кренке Д. Теория и практика построения баз данных, 9-е издание. / Д. Кренке. // СПб.: Питер, 2005. – 864 с.

157. Корнеев В. В. Базы данных. Интеллектуальная обработка информации. / В. В. Корнеев, А. Ф. Гарев, С. В. Васютин, В. В. Райх // М.: Нолидж, 2000. – 351 с.

158. Буч Г. Язык UML. Руководство пользователя / Г. Буч, Д. Рамбо, А. Джекобсон // М.: ДМК Пресс, 2001. – 432 с.

159. Фаулер М. UML. Основы / М. Фаулер, К. Скотт // СПб: Символ-Плюс, 2002. – 192 с.

160. Мадяр С.-А. И. Автоматизация анализа данных цветопреференциального обследования антарктических зимовщиков / С.-А. И. Мадяр, Е. Э. Ковалевская, Л. С. Глоба, Е. С. Штогрин, Р. А. Косовненко, Ю. А. Добров, Е. В. Моисеенко // Український Антарктичний Журнал, № 14, 2015. – С. 217 – 228.


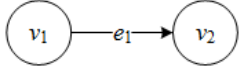
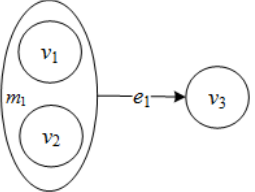
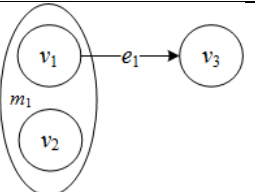
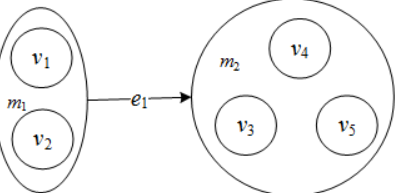
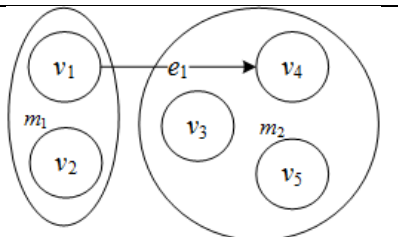
Додаток А

Матриці коефіцієнтів для основних прикладів взаємозв'язків між вузлами метаграфів

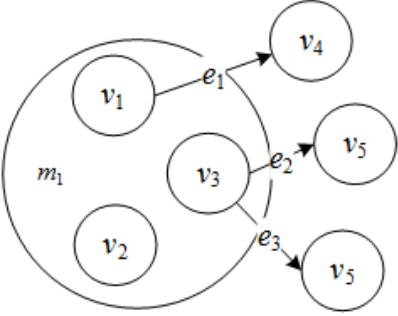
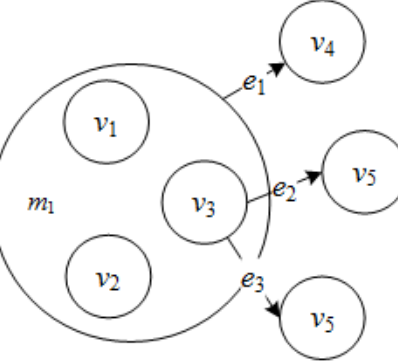
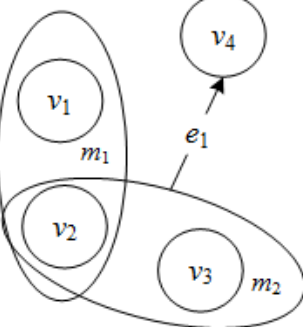
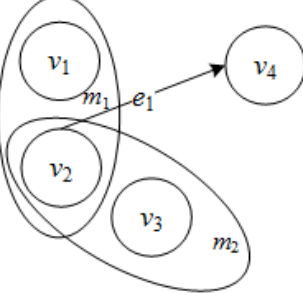
Розглянемо основні приклади співвідношень вузлів у метаграфах та ребер між ними. Побудуємо не нормовані матриці коефіцієнтів притягання і відштовхування для цих прикладів (табл. Б.1).

Таблиця А.1

Матриці коефіцієнтів притягання і відштовхування для основних прикладів взаємозв'язків між вузлами метаграфів

Метаграф	Матриця притягання	Матриця відштовхування
	$Ka = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$	$Kr = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$
	$Ka = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$	
	$Ka = \begin{pmatrix} 0 & 4 & 4 & 1 \\ 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 \\ 1,5 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$Kr = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1,5 & 0 & 1 & 1 \\ 1,5 & 1 & 0 & 1 \\ 1,5 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$
	$Ka = \begin{pmatrix} 0 & 3 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 1 \\ 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	
	$Ka = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 4 & 4 & 0 & 0 & 0 \\ 1,5 & 0 & 0 & 0 & 5 & 5 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 2,5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2,5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2,5 & 2,5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2,5 & 0 & 2,5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2,5 & 2,5 & 0 \end{pmatrix}$	$Kr = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1,5 & 0 & 1,5 & 1,5 & 1,5 & 1,5 & 1,5 \\ 0 & 2 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 2 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1,5 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1,5 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$
	$Ka = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 3 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 4 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 2,5 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2,5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2,5 & 2,5 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 2,5 & 0 & 2,5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2,5 & 2,5 & 0 \end{pmatrix}$	

Продовження таблиці А.1

Метаграф	Матриця притягання	Матриця відштовхування
	$Ka = \begin{pmatrix} 0 & 4 & 4 & 4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 3 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 3 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$Kr = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1,5 & 1,5 & 1,5 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$
	$Ka = \begin{pmatrix} 0 & 5 & 5 & 5 & 1,5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 3 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	
	$Ka = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 3 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 4 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 1,5 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$Kr = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1,5 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1,5 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1,5 & 1,5 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$
	$Ka = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 3 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	

Як видно з табл. Б.1 матриці коефіцієнтів відштовхування для метаграфів з однаково взаємопов'язаними вузлами однакові. Ця особливість впливає з того, що сили відштовхування діють між усіма вузлами, окрім пар метавершина та її внутрішня вершина.

Додаток Б

**Алгоритм побудови метаграфа, що подає базу нечітких знань,
яка зберігається в базі даних з використанням черги у
вигляді псевдокоду**

BUILDING_METAGRAPH (LZ)

Черга Q

Масив Terms

Масив Rules

Number \leftarrow 0Terms \leftarrow Застосування формули (1) з параметром @LinguisticVariableID = LZ**for** i \leftarrow 0 **to** length[Terms]

Enqueue(Q, Terms[i])

 i \leftarrow i + 1**end for****while** length[Q] > 0 term \leftarrow Dequeue(Q)

Додати до Metagraph вершину, що відповідає term, пронумеровану номером Number

 Number \leftarrow Number + 1Rules \leftarrow Застосування формули (2) з параметрами @TermID = term та @IsResultOfRule = 1i \leftarrow 0**while** i < length[Rules] Terms \leftarrow Застосування формули (3) з параметрами @FuzzyRuleID = Rules[i] та @IsResultOfRule = 0

Додати до Metagraph метавершину, пронумеровану номером Number, яка включає вершини, що відповідають термам з Terms

Додати дугу, яка виходить з цієї метавершини та входить до вершини, яка відповідає терму term.

 Number \leftarrow Number + 1**for** j \leftarrow 0 **to** length[Terms] **if** в Q не існує елемента Terms[j] **then** Enqueue(Q, Terms[j]) j \leftarrow j + 1**end for**i \leftarrow i + 1**end while****end while**

Додаток В

Акти впровадження



УКРАЇНА
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АНТАРКТИЧНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР

01601, м. Київ, бульвар Тараса Шевченка, 16, тел./факс: (380 44) 246-38-80, uac@uac.gov.ua

22 серпня 2016 р. № 18С

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційного дослідження Штогріної Олени Сергіївни на тему: «Інформаційна технологія створення та використання баз нечітких знань із застосуванням метаграфів», на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Комісія у складі співробітників Державної установи Національний антарктичний науковий центр Міністерства освіти і науки України (далі – ДУ НАНЦ):

1. Моїсеєнко Є. В. – завідувач відділу медико-біологічних досліджень, д.м.н., голова комісії;
2. Леонов М. А. – старший науковий співробітник відділу атмосфери;
3. Мороз І. В. – головний інженер.

склали акт про впровадження результатів дисертаційного дослідження Штогріної Олени Сергіївни «Інформаційна технологія створення та використання баз нечітких знань із застосуванням метаграфів», виконаного в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут», в оперативну практичну діяльність ДУ НАНЦ, а саме:

№ з/п	Вид впроваджених результатів	Характеристика масштабу впровадження	Форма впровадження
1	Метод оцінки стану складного об'єкту.	Розроблений метод оцінки стану складного об'єкту та алгоритм на його основі використовується для оцінки психофізіологічного стану зимівників на українській антарктичній станції «Академік Вернадський».	Web-застосування на порталі Національного центру антарктичних даних (НЦАД) з доступом до програмного модулю, який реалізує метод оцінки стану складного об'єкту.
2	Методи та алгоритми на їх основі для створення, редагування та аналізу баз нечітких знань із використанням метаграфів.	Розроблені методи та алгоритми на їх основі використовується для створення, редагування та аналізу баз нечітких знань для оцінки психофізіологічного стану зимівників.	Web-застосування на порталі Національного центру антарктичних даних (НЦАД) з доступом до програмних модулів, які реалізують створення, редагування та аналіз баз нечітких знань із використанням метаграфів та наявності наочного графічного інтерфейсу.
3	Інформаційна технологія створення та використання баз нечітких знань із застосуванням метаграфів. Опис архітектури інформаційної системи, схем баз даних.	Розроблена технологія забезпечила функціонування застосувань на порталі НЦАД для оцінки психофізіологічного стану зимівників. Запропоновано архітектуру інформаційної системи, описано схему бази даних.	База нечітких знань, база даних для збереження характеристик зимівників, елементи portalу НЦАД, технічна документація.

Голова комісії

Члени комісії:

Є. В. Моїсєнко

М. А. Леонов

І. В. Мороз

«22» червня 2016 р.



В. А. Литвинов

Заступник директора з наукової роботи
Національного центру «Мала академія
наук України», доктор технічних наук

« 8 » вересня 2016 р.

АКТ

**впровадження результатів дисертаційної роботи в Національному
центрі «Мала академія наук України»**

1. **Найменування пропозиції для впровадження:** Інформаційна технологія створення та використання баз нечітких знань із застосуванням метаграфів.
2. **Ким запропоновано, адреса:** НТУУ «КПІ» Інститут телекомунікаційних систем, кафедра інформаційно-телекомунікаційних мереж; адреса: 03056, м. Київ, пров. Індустріальний, 2.
3. **Ким впроваджено:** Штогріна Олена Сергіївна.
4. **Реєстр онтологій:** <http://editor3.inhost.com.ua>; <http://ontology.inhost.com.ua/>
5. **Терміни впровадження:** 2016 р.
6. **Ефективність впровадження:** підвищення ефективності інформаційно-аналітичної діяльності державних та комерційних організацій і підприємств за рахунок розробки інформаційної технології створення та використання баз нечітких знань із застосуванням метаграфів, яка включає удосконалену модель, розроблені методи та алгоритми, і створення інформаційної системи для її практичної реалізації. Впровадження запропонованої інформаційної технології дозволило скоротити час виконання типових завдань особами, що приймають рішення, експертами та дослідниками на 30%.
7. **Зауваження, пропозиції:** Розповсюдження отриманих позитивних результатів впровадження шляхом застосування метаграфів, та баз нечітких знань, поданих метаграфами з метою створення інтегрованих інформаційних середовищ щодо забезпечення навчально-наукових досліджень та підвищення якості та ефективності управління навчальними та дослідницькими проектами учнівської молоді.

Відповідальний за впровадження:
завідувач відділом створення та використання
інтелектуальних мережних інструментів
Національного центру «Мала академія наук
України», кандидат технічних наук



М.А. Попова

Затверджую



Перший проректор
Національної медичної академії
післядипломної освіти
імені П. Л. Шупика, чл.-кор. НАМН
України, д.мед.н., професор

Ю. П. Вдовиченко
2016 р.

АКТ впровадження у навчальний процес

1. **Найменування пропозиції для впровадження:** інформаційна технологія створення та використання баз нечітких знань із застосуванням метаграфів.
2. **Ким запропоновано, адреса:** НТУУ «КПІ» Інститут телекомунікаційних систем, кафедра Інформаційно-телекомунікаційних мереж; адреса: 03056, м. Київ, пров. Індустріальний, 2, м. Київ.
3. **Виконавець:** Штогріна Олена Сергіївна.
4. **Джерело інформації:** Реєстр онтологій: <http://editor3.inhost.com.ua/>; <http://ontology.inhost.com.ua/>
5. **Ким впроваджено:** кафедра медичної інформатики.
6. **Терміни впровадження:** січень – червень 2016 року.
7. **Ефективність впровадження:** підвищення ефективності навчального процесу та інформаційно-аналітичної діяльності кафедр за рахунок застосування інформаційної технології щодо використання баз нечітких знань із застосуванням метаграфів, яка включає удосконалену модель. Впровадження запропонованої інформаційної технології дозволила скоротити час виконання типових завдань експертами та дослідниками на $23 \pm 4\%$.
8. **Зауваження, пропозиції:** розповсюдити отримані позитивні результати впровадження для застосування у ВНЗх України.

Відповідальний за впровадження:

Завідувач кафедри медичної інформатики
доктор медичних наук, професор

О. П. Мінцер